

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

E.A.P. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Proceso innovador para mejorar la recuperación de oro
y reducir la contaminación ambiental en la minería
artesanal**

TESIS

Para optar el grado académico de doctor en Gestión de Empresas

AUTOR

Vidal Sixto Aramburú Rojas

Lima – Perú

2015

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
SINTESI	v
RESUMO	vi
NOMENCLATURA	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	01
1.1 Situación problemática	01
1.2 Formulación del problema	02
1.2.1 Problema general	03
1.2.2 Problemas específicos	03
1.3 Justificación de la investigación	04
1.3.1 Justificación teórica	04
1.3.2 Justificación práctica	04
1.3.3 Justificación social	05
1.4 Objetivos de la investigación	05
1.4.1 Objetivo general	05
1.4.2 Objetivos específicos	05
1.5 Hipótesis y variables	06
1.5.1 Hipótesis general	06
1.5.2 Hipótesis específicas	06
1.5.3 Identificación de variables	06
1.5.4 Operacionalización de variables	07
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	09
2.1 Antecedentes	09
2.2 Bases teóricas	16
2.3 Marco epistemológico de la investigación	31
2.4 Marcoconceptual	34
2.5 Trabajos realizados en la minería artesanal	37
2.5.1 El quimbaleta como equipo de refinación y amalgamación	37
2.5.2 Condiciones del quimbaleta y parámetros de operación	42
2.5.3 Pérdidas de mercurio	44
2.5.4 Utilización de reactivos en el proceso	44
2.5.5 Deslame con trampa interna	46
2.5.6 El repaso de relaves de la piscina de sedimentación	

utilizando una canaleta de concentración	47
2.5.7 Trampas de mercurio instalado en el desagüe del quimbaleta	49
2.5.8 La recuperación del mercurio líquido a partir de los concentrados con harina de mercurio	52
2.5.9 Sistema de preconcentración gravimétrica y amalgamación del preconcentrado	53
2.6 Concentrador Knelson	55
2.6.1 Generalidades del concentrador Knelson	55
2.6.2 Funcionamiento de un concentrador Knelson	56
2.6.3 Procedimiento de operación del concentrador Knelson	57
2.6.4 Tipos de concentrador Knelson	58
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN	61
3.1 Tipo y diseño de investigación	61
3.2 Unidad de análisis	63
3.3 Población de estudio	63
3.4 Tamaño de muestra	63
3.5 Selección de muestra	64
3.6 Procedimiento metodológico de la investigación	64
3.7 Análisis mineralógico de la muestra sobre una sección pulida	65
3.7.1 Interpretación mineralógica	67
3.7.2 Distribución volumétrica porcentual y grados de liberación	67
3.7.3 Interpretación de grados de liberación	69
CAPÍTULO IV: PRUEBAS EXPERIMENTALES	76
4.1 Pruebas de preconcentración con el concentrador Knelson	76
4.1.1 Condiciones de la prueba	76
4.1.2 Resultados de la prueba con 52.25%-200 malla	76
4.1.3 Resultados de la prueba con 60.66%-200 malla	77
4.1.4 Resultados de la prueba con 67.13%-200 malla	78
4.1.5 Resultados de la prueba con 74.64%-200 malla	78
4.2 Pruebas de cianuración de los relaves del concentrador Knelson	80
4.2.1 Condiciones de la prueba	80
4.2.2 Resultados de la cianuración con 52.25%-200 malla	80
4.2.3 Resultados de la cianuración con 60.66%-200 malla	81
4.2.4 Resultados de la cianuración con 67.13%-200 malla	82
4.2.5 Resultados de la cianuración con 74.64%-200 malla	83
4.3 Pruebas metalúrgicas de cianuración de los relaves del concentrador Knelson remolido, incrementando el tiempo y agitación	84

4.3.1	Condiciones de la prueba	84
4.3.2	Resultados de la cianuración del relave remolido	84
4.4	Interpretación de los resultados obtenidos	86
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		90
ANEXOS		93

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres Fernando y Hermelinda, como muestra de gratitud, por la invaluable ayuda en mi formación profesional y logro de mis aspiraciones.

A Olga, mis hijas Janet y Janina, en especial a mi hijo Fernando por ser una persona muy especial por la creación Divina.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por haberme iluminado en todo momento, dejo constancia mi agradecimiento a los Doctores Jorge Luís Inche Mitma, Orestes Cachay Boza Decano de la Facultad y Eulogio Santos de la Cruz Director de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial; quienes brindaron su invaluable apoyo en el presente trabajo de tesis de grado doctoral.

Así mismo a la Doctora Julia Marilú Calderón Celis, profesora asesora que contribuyó con su experiencia y orientación al desarrollo de la presente tesis. Mi reconocimiento a todos los docentes de la Facultad por sus consejos y recomendaciones por hacer realidad esta tesis de Postgrado.

Finalmente a los mineros artesanales de Yangas, por haber proporcionado las muestras para el estudio del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

La muestra que es materia de estudio de investigación de la presente tesis, es un mineral parcialmente oxidado con una ley de cabeza calculada de 16.20 g/TM; proporcionado por los mineros artesanales de Yangas, provincia de Canta, departamento de Lima.

La caracterización de la muestra se realizó en el microscopio óptico polarizado, en la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica de la UNMSM, donde se observa la presencia de oro, calcopirita, covelita, calcosita, esfalerita, pirita, arsenopirita, magnetita, goethita, rutilo y gangas. Además encontramos partículas entrelazadas de oro con calcopirita y pirita, el tamaño más grande de oro es 17 micras, el resto de oro debe estar dentro de las especies mineralógicas de los minerales sulfurados. Esto hace que la recuperación de oro sea bajo, por el proceso de amalgamación, que emplea la minería artesanal.

La mejor prueba seleccionada en la preconcentración, con el concentrador Knelson es con una granulometría de 67.13% - 200 malla, obteniéndose 300.20 g/TM de concentrado, 33.66% de recuperación y 51.59 de radio de concentración.

La mejor prueba de cianuración de los relaves de la preconcentración del concentrador Knelson, con la muestra sin remoler, con 24 horas de lixiviación y 300 RPM de agitación, se obtiene 70.02% de recuperación de oro y un consumo de cianuro de sodio de 1.62 Kg/TM.

Remoliendo los relaves de la preconcentración a una granulometría de 87.25% - 200 malla, 48 horas de lixiviación y 500 RPM de agitación, se llega a una recuperación de oro de 81.06% con un consumo de cianuro de sodio de 2.52 Kg/TM.

La recuperación total de oro, tanto de la preconcentración y cianuración de los relaves de la preconcentración remolidos es de 87.44%.

El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación de la presente tesis, para el procesamiento de los minerales de los mineros artesanales de Yangas, es una preconcentración con el

concentrador Knelson, remoler los relaves de la preconcentración y realizar el proceso de cianuración, para obtener una recuperación total de 87.44% de oro, consumo de cianuro de sodio de 2.52 Kg/TM, sin el uso del mercurio que reduce la contaminación ambiental.

SINTESI

Il soggetto che viene studiato in questa tesi di ricerca, è un minerale parzialmente ossidato, fornito dai minatori artigianali di Yangas, dalla provincia di Canta, nella città di Lima.

La caratterizzazione dal argomento è stata effettuata sula luce polarizzata microscopia, nella Facoltà di Ingegneria Geologica dalla Università San Marcos, che mostra la presenza di oro, calcopirite, covellite, chalcocite, sfalerite, pirite, arsenopirite, magnetite, goethite, rutilo e gange. Anche si è trovato l'oro particelle intrecciati con calcopirite e pirite, l'oropiù grande è di 17 micron, l'altro oro deveessereall'interno di speciemineralogichedeiminerali di solfuro. Questo permette la possibilità che il recupero dell'oro è basso dal processo di fusione, che impiegano dell'estrazione artigianale.

Il miglior test selezionato con il Knelson concentratore è con un grano di 67,13% - 200 mesh, ottenuto 300.20 g / MT di concentrato, 33.66% di recupero e 51.59 come radio di concentrazione.

La migliore prova di rimanenti di cianurazione dala preconcentrazione dal concentratore Knelson, con la mostra senza riaffilatura, con 24 ore di lisciviazione e di agitazione 300 rpm, si ottieneil recupero 70,02% di oro e di consumo di cianuro di sodio di 1.62 kg / TM.

Remoliendo gli rimanenti dala preconcentrazione alla finezza di 87.25% - 200 mesh, 48 ore di lisciviazione e di agitazione 500 rpm, si ottiene un recupero dell'oro del 81.06% con consumo di cianuro di sodio 2.52 kg / TM.

Il recupero totale dell'oro sia della preconcentrazione e cianurazione di rimanenti di preconcentrazione dala rimacinato è di 87.44%.

Il proceso metallurgico appropriato in base ai risultati della ricerca di questa tesi, per la la vorazione di minerali dalle miniere artigianali è una preconcentrazione di Knelson con centratore, riaffilano gli rimanenti di pre concentrazione e rendere il processo di cianurazione per ottenere un recupero totale del 87.44% di oro, cianuro di sodio di 2.52 kg / MT, senza l'uso di mercurio che reduce l'inquinamento ambientale.

RESUMO

A amostra que é questão do estudo de pesquisa da presente tese é um mineral parcialmente oxidado fornecido pelos garimpeiros da Yangas, província de Canta, departamento de Lima.

A caracterização da amostra foi realizada em microscópio ótico polarizado, na Escola Acadêmico Profissional de Engenharia Geológica, da UNMSM, onde se observa a presença de ouro, calcopirita, covelita, calcocite, esfalerita, pirita, arsenopirita, magnetita, goethita, rutilo e pechinchas. Ademais achamos partículas emaranhadas de ouro com calcopirita e pirita, o tamanho maior do ouro é 17 microns, o ouro restante deve estar dentro das espécies mineralógicas de sulfetos. Isso faz com que a recuperação do ouro seja baixa pelo processo de amalgamação, que utiliza a mineração artesanal.

O melhor teste selecionado na pré-concentração com o concentrador Knelson é uma granulometria de 67,13% - 200 malha, se obtendo 300,20 g/MT de concentrado, 33,66% de recuperação e 51,59% de rádio concentração.

O melhor teste de cianetação dos rejeitos da pré-concentração do concentrador Knelson, com a amostra sem remoer, com 24 horas de lixiviação e 300 RPM de agitação, você obtém 70,02% de recuperação de ouro e um consumo de cianeto de sódio de 1,62 kg/TM.

Remoendo os rejeitos da pré-concentração a uma granulometria de 87,25% - 200 malha, 48 horas de lixiviação e 500 rpm de agitação, você consegue uma recuperação de ouro de 81,06% com um consumo de cianeto de sódio de 2,52 kg/MT.

A recuperação total de ouro como da pré-concentração e cianetação dos rejeitos da pré-concentração remoídos é de 87,44%.

O processo metalúrgico apropriado de acordo com os resultados da pesquisa desta presente tese, para o processamento dos minerais da mineração artesanal é uma pré-concentração com o concentrador Knelson, ou seja, remoer os rejeitos da pré-concentração e realizar o processo de cianetação, para obter uma recuperação total de 87,44% de ouro, consumo de cianeto de sódio de 2,52 kg/MT, sem o uso de mercúrio e reduzindo a poluição ambiental.

NOMENCLATURA

pH	Variación de hidrógeno
μ	Micras
%	Porcentaje
L/S	Relación líquido-sólidos
ppm	Partes por millón
Kg	Kilogramos
TM	Toneladas métricas
g	Gramo
g/TM	Gramos por tonelada métrica
Kg/TM	Kilogramos por tonelada métrica
°C	Grados centígrados
SNC	Temblor de párpados, dedos y labios
Cm	Centímetros
\$ US	Dólares americanos
Mm	Milímetros
°	Grados de inclinación
lts	Litros
grs	Gramos
Hg	Mercurio
ltr/s	Litros por segundo
tph	Toneladas por hora
hrs	Horas
"	pulgada
Psi	Libra por pulgada cuadrada (unidad de presión)
G's	Fuerza de gravedad
hrs	Horas
RPM	Revoluciones por minuto
ml	Mililitro

LISTA DE CUADROS

3.1	Tipo y Diseño de Investigación	61
3.2	Minerales Observados	66
3.3	Volúmenes y Grados de Liberación	68
3.4	Volúmenes y Grados de Liberación de los Minerales Observados	71
3.5	Tipos Geométricos de Entrelazamiento de los Minerales y sus Posibilidades de Liberación Completa	72
4.1	Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 52.25% - 200 malla	76
4.2	Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 60.66% - 200 malla	77
4.3	Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 67.13% - 200 malla	78
4.4	Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 74.64% - 200 malla	78
4.5	Balance Metalúrgico Cianuración a 52.25% - 200 malla	80
4.6	Balance Metalúrgico Cianuración a 60.66% - 200 malla	81
4.7	Balance Metalúrgico Cianuración a 67.13% - 200 malla	82
4.8	Balance Metalúrgico Cianuración a 74.64% - 200 malla	83
4.9	Balance Metalúrgico Cianuración del Relave Remolido	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 La Operación con el Quimbaleta	38
2.2 Quimbaleta Gastado	39
2.3 Molino de Bolas	41
2.4 Altura del Tubo	42
2.5 Ángulo de la Secante	43
2.6 Trabajos de la Canaleta con Relaves	47
2.7 Agregando Relaves y Agua	48
2.8 Canaleta Metálica con Alfombra	50
2.9 Canaleta Rústica con Toallas	51
2.10 Canaleta con Placa Amalgamadora como Trampa	52
2.11 Concentradores KnelsonSemi – Continuos	59
2.12 Concentradores Knelson Continuos	60
3.1 Entrelazamiento de Calcopirita (cp) con la Ganga (GGs). 200 X	73
3.2 Partículas Libres de Calcopirita (cp), Pirita (py) y Gangas (GGs); al Centro de la Vista una Partícula Entrelazada de Calcopirita (cp) con la Calcosita (cc). 200 X	73
3.3 Partículas Libres de Calcopirita (cp), Pirita (py) y Gangas (GGs).X	74
3.4 Partículas Libres de Pirita (py) y Gangas (GGs); Partícula Entrelazada de Esfalerita (ef) con la Ganga (GGs). 200 X	74
3.5 Partículas Entrelazadas de Calcopirita (cp) con la Pirita (py), Además Partículas Libres de Gangas (GGs). 200 X	75
3.6 Partículas Entrelazadas de Oro (Au) con la Calcopirita (cp) y la Pirita (py). 400 X.	76
4.1 Operación Concentrador Knelson	79
4.2 Interior del Cono del Concentrador Knelson	79
4.3 Agitador para el Proceso de Cianuración.	85

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Situación Problemática

La minería aurífera artesanal informal ocasiona problemas de contaminación ambiental por el uso de mercurio, por utilizar tecnologías obsoletas y tradicionales. Así como también, accidentes por condiciones inseguras de trabajo, explotación de niños de menores de edad y madres de familias, etc.

Según el boletín del Instituto de Salud y Trabajo, mediante COSUDE- Proyecto GAMA publicado en Diciembre 2004; menciona que el mercurio es un metal altamente tóxico para los menores de edad, ya que produce daños irreversibles en el sistema nervioso central (cerebro), y puede llegar a producir la muerte en los casos más graves. En la minería artesanal se utiliza el Quimbaletto o amalgamación, donde el mercurio es agregado manualmente a la fosa del quimbaletto, en seguida es exprimido, para obtener la bola de amalgama. La exposición al contacto con el mercurio es más evidente, pues éste exprimido es totalmente manual, aquí debemos observar que no solo por la piel ingresa el mercurio al organismo sino también por las uñas, a través del lecho ungueal, que es la parte debajo de la uña.

También en el boletín indican el mecanismo de cómo se introduce el mercurio a través de la piel. El mercurio es una sustancia que posee una propiedad de liposolubilidad, es decir; en pequeñas cantidades atraviesa las barreras de la piel, de tal forma que en tiempos prolongados de exposición el mercurio que ingresa, pasa al torrente sanguíneo y recorre todo nuestro cuerpo dañando nuestros riñones, hígado y sobre todo nuestro cerebro. En el refogado o quema, se realiza al aire libre o peor aún; dentro de una habitación que es una

de las formas más directas y peligrosas de intoxicación. Es necesario señalar que la rudimentaria protección de un pañuelo que tapa la boca o la nariz no ayuda en nada, pues los vapores de mercurio que produce la quema de la amalgama pueden traspasar la tela del pañuelo. Mientras ocurre el refogado, donde el mercurio en forma de vapor se encuentra en pequeñísimas partículas y éstas viajan a través de nuestros bronquios llegando a una parte muy profunda donde se lleva a cabo el proceso de la respiración, es aquí donde el mercurio nuevamente ingresa a la sangre y se dispersa por todo nuestro organismo. Igualmente dañino es el polvo producido por la permanencia de los relaves en las pozas cuando el agua se evapora.

Por los altos precios actuales del oro, las poblaciones aledañas y las comunidades de la serranía, (como es nuestro caso el de la comunidad de Yangas) encuentran oportunidades de trabajo abandonando la agricultura, debido a que la actividad minera es más rentable. Los estudios de investigación realizadas de los relaves del proceso de amalgamación de la minería artesanal arroja resultados preocupantes, el relave de la preconcentración tiene 3.67 ppm de mercurio y el relave de la cianuración tiene 2.70 ppm de mercurio. Estos valores son altos, si comparamos con los límites máximos permisibles que es de 0.14 ppm. Esto significa una contaminación permanente de cuencas y canchas de relaves (Aramburú 2009, p.17)

1.2 Formulación del Problema

Muchas familias de las comunidades incluido las esposas y los niños están expuestos a una grave intoxicación mercurial, mientras trabajan y al final de la labor no tienen la precaución de lavarse aquella parte del cuerpo que se hayan manchado con mercurio o líquidos que contengan mercurio.

En la I Convención Regional de Productores Mineros Artesanales, realizado el

1 de Julio del 2002 con el tema “Aspectos Ambientales de la Minería Artesanal”, el Ing. José Vidalón Gálvez manifestó los impactos ambientales que ocasiona la minería artesanal como: Uso inadecuado de mercurio, inestabilidad de labores mineras, acumulación de desmonte, contaminación con relaves, generación de polvo, produciendo la alteración del paisaje natural. Además puntualizó la problemática de la minería artesanal donde la explotación de los yacimientos es inadecuada, ausencia crónica de capital, frecuente informalidad, uso ineficiente de recursos, baja recuperación de oro, deficiente seguridad e higiene minera, falta de conciencia ambiental, difícil control ambiental por la autoridad competente.

Ante la situación expuesta se formulan los siguientes problemas de investigación:

1.2.1 Problema General:

¿De qué manera el proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración, puede mejorar la recuperación de oro y la reducción de la contaminación ambiental en la minería artesanal?

1.2.2 Problemas Específicos:

- ¿Cuál es el proceso de preconcentración más adecuado, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental?
- ¿De qué manera el proceso de cianuración de los relaves de preconcentración, mejora la recuperación de oro y reduce la contaminación ambiental?

1.3 Justificación de la Investigación

1.3.1 Justificación Teórica

El estudio de investigación de la presente tesis, se justifica porque la minería artesanal tiene problemas de contaminación ambiental por el uso inadecuado del mercurio, la informalidad y la baja recuperación del oro. El estudio apunta a reducir la contaminación evitando el uso del mercurio y mejorar la productividad en la recuperación del oro.

1.3.2 Justificación Práctica

Entre las justificaciones prácticas tenemos:

La minería artesanal se desarrolla en un contexto de riesgos físicos por condiciones inseguras de trabajo; esto significa labores mineras de explotación subterránea desarrolladas a través de métodos antiguos, la explotación de las vetas generalmente se realizan desde la superficie a través de piques cuyas longitudes en muchos casos exceden los 200 metros de profundidad. Las labores de explotación subterránea son de busconeo que carecen de ventilación y sostenimiento. El manejo inapropiado de explosivos, generalmente incumplen las normas de seguridad e higiene minera y medio ambientales.

Prácticas ambientales inaceptables

Los impactos ambientales producidos por:

- Uso inadecuado del mercurio, tanto en la preparación de la amalgama, como en la quema o refogado para la obtención del oro.
- Uso inadecuado del cianuro en las pozas de cianuración con el consiguiente riesgo para la salud de los operadores y afectación del

medio ambiente, sobre todo en operaciones cerca de cursos de agua, generación de polvo y la alteración del paisaje.

Por eso el estudio de la investigación del proceso innovador, que significa mejorar el proceso convencional de amalgamación, está orientado a encontrar el proceso metalúrgico adecuado, para mejorar la recuperación del oro, evitar el uso del mercurio y sensibilizar para que los actores de la minería artesanal realicen sus operaciones dentro de marco de la legalidad.

1.3.3 Justificación Social

En el aspecto social, tenemos pobres condiciones de vida como: alto riesgo de salud, inexistencia de servicios sociales de salud, educación, campamentos eventuales para comunidades transitorias que vuelven a su medio de origen, tugurización y desorden en el hábitat de la población minera, no existe agua ni desagüe, la basura se acumula en las inmediaciones de los campamentos.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar un proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el proceso de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental.
- Determinar el proceso de cianuración de los relaves de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental.

1.5 Hipótesis y Variables

1.5.1 Hipótesis General

El proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración propuesto, permitirá mejorar la recuperación de oro.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- El proceso adecuado de la preconcentración en la primera etapa, mejorará la recuperación de oro.
- El proceso de cianuración de los relaves de preconcentración apropiado en la segunda etapa, mejorará la recuperación de oro.

1.5.3 Identificación de Variables

Las variables a considerarse en la primera etapa, que es el proceso de preconcentración son:

- **Variable independiente:**

- Granulometría o tamaño de partícula.

- **Variable dependiente:**

- Porcentaje de recuperación de oro.

- **Variables intervinientes controladas:**

- Fuerza de gravedad.
- Peso de muestra de mineral.
- Densidad de pulpa.
- Presión del flujo de agua.

Las variables a considerarse en la segunda etapa, que es el proceso de cianuración son:

- **Variables independientes:**
 - Granulometría o tamaño de partícula.
- **Variable dependiente:**
 - Porcentaje de recuperación de oro.
- **Variables intervinientes controladas:**
 - Tiempo de cianuración.
 - pH de cianuración.
 - Concentración de cianuro de sodio.
 - Densidad de pulpa.
 - Velocidad de agitación.

1.5.4 Operacionalización de Variables

Para el tratamiento de los datos se aplicó los balances metalúrgicos a fin de procesar e identificar la influencia de las variables, tanto en la etapa de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración. En el análisis de los datos se aplicó los balances metalúrgicos, a fin de evaluar, Interpretar y optimizar las variables en estudio.

PRE CONCENTRACIÓN (1era Etapa)

Hipótesis	Variable independiente	Variables intervinientes	Variable Dependiente
Mejorará la recuperación de oro.	Granulometría o tamaño de la partícula.	<ul style="list-style-type: none"> -Fuerza de gravedad. -Peso de muestra mineral. -Densidad de pulpa. -Presión flujo de agua. 	% de recuperación de oro.

CIANURACIÓN (2da Etapa)

Hipótesis	Variable independiente	Variables intervinientes	Variable Dependiente
Mejorará la recuperación de oro.	Granulometría o tamaño de partículas.	<ul style="list-style-type: none"> -Tiempo de cianuración. -pH de cianuración -Concentración de cianuro de sodio. -Densidad de pulpa. -Velocidad de agitación. 	% de recuperación de Oro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

López A. (2011) en su investigación *Concentración gravimétrica centrífuga de oro y plata y su implementación en el circuito de molienda de minera El Pilón*. Presentada en la Universidad de Autónoma de San Luis de Potosí – México. Minera El Pilón trata 800 ton/día de mineral con 0.34 g Au/ton y 320 g Ag/ton por el proceso de lixiviación con cianuro de sodio, para la obtención de doré. El 10% de la Ag y 20% del Au, se recupera con dos concentradores gravimétricos centrífugos instalados, en un circuito con dos molinos en serie con clasificación cerrada, para obtener un concentrado con 22 g Au/ton y 9 kg Ag/ton, que se envía a MET-MEX de Industrias PEÑALES, S.A. Con los concentradores, se logró incrementar en 3% la recuperación de Au y Ag, para tener una recuperación total 93% y 94% para la Ag y el Au, respectivamente. Los concentradores procesan solamente una fracción de los gruesos de los hidrociclones del circuito de molienda, de tal manera que retornan, al mismo, las colas de los concentradores. Para conservar un porcentaje de sólidos apropiado en molienda y compensar por el agua empleada en los concentradores, se ha incorporado un hidrociclón, que desagua las colas de uno de los concentradores, antes de que éstas retornen al circuito de molienda. La implementación de los concentradores gravimétricos y del hidrociclón de desagüe no ha afectado la capacidad, ni el control de la operación del circuito de molienda, que muele el mineral a 76% -200 mallas. Con la implementación de los concentradores gravimétricos, además del incremento de la recuperación de oro y plata, se ha tenido una disminución de 200 g/ton en el consumo de cianuro de

sodio en lixiviación.

Piscocoya J. (2011) en su investigación *Minería y Contaminación ambiental en Piura*. Universidad Nacional de Piura – Escuela de Post Grado. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental.

El objetivo de la investigación fue determinar la existencia de contaminación ambiental por minería en Piura. Material y Métodos: se realizó un estudio descriptivo, transversal, observacional; utilizando trabajos de investigación y publicaciones sobre el tema a nivel nacional y en el extranjero. Se realizó triangulación de toda la información teórica y empírica. Resultados: Se encontraron evidencias de contaminación en aire, suelo y agua con productos como cianuro y mercurio. En minería informal (que produce 24 Ton. de oro al año), el problema se torna incontrolable por la difusión y desconocimiento de las localidades donde se practica y falta de estudios de impacto ambiental, que generan poco desarrollo de éstas comunidades. Existen zonas de actividad ilegal en Amazonas, Loreto, Ucayali, Puno, Huánuco, Ica, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Cajamarca, La Libertad, Piura, Lima, Pasco, Tacna y Moquegua.

Conclusión: Existe contaminación del suelo, aire, aguas; hundimiento del suelo, ruidos y vibraciones, desperdicios y aguas servidas, drenaje ácido de roca (DAR) que genera aguas ácidas con sulfatos metálicos, riesgo de falla de depósitos en relave, descarga de sedimento por erosión de relaveras, precipitados de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Presencia de pasivos ambientales. En la industria minera del Perú se está desarrollándose la conciencia ambiental a nivel de la gran minería, no así en la pequeña o minería artesanal, se conocen los impactos ambientales con un diagnóstico parcial de los pasivos ambientales. Se pudo evidenciar que entre los metales que superan los límites permisibles según normas internacionales en el río Piura, están: Ba, Cr, Al, Cd, Ca, Fe, Hg, Ir, Mg, Mo, Ni, Pb, Si, Sr., Te, Ti, V, W, Zn.

Alvarez J. (2011) Informe *Minería aurífera en Madre de Dios y la contaminación con mercurio, una bomba de tiempo*. Instituto de la Amazonía. Ministerio del Ambiente.

La minería artesanal en el Perú es una actividad que toma gran impulso, con gran informalidad, en Madre de Dios, a partir de la década del 80, en un contexto de recesión económica, crisis del campo, violencia política generada por el terrorismo lo que determinó procesos migratorios, principalmente a zonas con filiación aurífera, dado los altos precios alcanzados por este metal; lo que explica que un elevado porcentaje de esta actividad está orientado a la explotación de yacimientos auríferos aluviales, al promulgarse a comienzos del año 2002, la Ley N° 27651- “Ley de formalización y promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” y, posteriormente, su respectivo reglamento -D.S. 013-2002-E.M- se creó el marco jurídico perfectible para el reconocimiento oficial de la minería artesanal/ informal e incluso hasta para definirla, dado que anteriormente se tenía que recurrir en “préstamo” a la definición que sobre esta actividad había adoptado el Banco Mundial (“Tipo más primario de minería, caracterizado por individuos o grupos de individuos que explotan depósitos en pequeña escala con métodos manuales o equipos muy simples”) y obviamente se han creado también las condiciones básicas para aspirar a la integración de la minería artesanal/ informal en el sector de la economía formal.

Esta situación iniciada en los 80 hasta la fecha, se ha acrecentado y llegado al punto de llevar a realizar medidas y movilizar acciones conjuntas en diversos sectores, y que hacen replantear el accionar del rol de algunos sectores del Estado, bajo una nueva institucionalidad, como la del Ministerio del Ambiente, que ha venido liderando el proceso de formalización de esta actividad que ha generado

una situación compleja y sumamente perjudicial en una de las regiones más ricas en diversidad biológica del Perú y del mundo.

Si bien se vienen realizando esfuerzos desde el sector público y privado para plantear una solución y a toda la problemática asociada, es mucho lo que resta por hacer. Este caso emblemático de Madre de Dios demuestra que la inacción del Estado durante muchos años y décadas, ha llevado a que las mafias que se desarrollan en torno a actividades ilegales, se posicionen y se consoliden en esta región. Es en ese sentido que el presente documento hace un análisis en base a información oficial y seria sobre los efectos de la minería aurífera en el Perú, tomando como centro el tema de contaminación por el mercurio.

Moschella P. (2011) en su investigación *Impactos ambientales de la minería Aurífera y percepción local de la micro cuenca Huacamayo- Madre de Dios*. Presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Esta investigación presenta un análisis de la problemática ambiental de la minería aurífera en Madre de Dios a partir del estudio de la microcuenca Huacamayo, la cual es de especial interés por el acelerado proceso de expansión de la minería entre los años 2007 y 2010, hasta convertirse en la segunda zona minera de mayor extensión en el departamento.

El estudio tiene por objetivo examinar las diferencias entre la percepción y la identificación objetiva de los impactos de la minería, para valorar algunos factores que intervienen en la percepción de los impactos. De modo que, contribuya a comprender la problemática ambiental y la relación de la población con su medio, bajo la consideración de que la percepción de las personas es la base para la toma de decisiones. La hipótesis del estudio es que la identificación y valoración de los

impactos ambientales de la minería por la población están influenciadas principalmente por la posibilidad de percibir directamente el impacto y el nivel de dependencia de la minería.

La identificación objetiva de los impactos ambientales se realizó a partir de la revisión bibliográfica, listas de verificación, análisis de imágenes satelitales, entrevistas y trabajo de campo. Mientras que el estudio de la percepción de la población respecto a los principales impactos y sus consecuencias se basa en encuestas y entrevistas.

En la fase de explotación minera los principales impactos directos son: deforestación, remoción del suelo, alteración de la morfología y del caudal, contaminación por hidrocarburos y emisión de ruido. La deforestación, hasta el 2010, abarca 2077 ha., equivalente al 31% de la microcuenca. Durante la fase de beneficio del mineral se emite mercurio al ambiente contaminando el aire y agua, lo cual afecta a la flora, fauna y la salud humana. Se estima que hasta el 2010 se emitieron 162.29 ton. de mercurio.

A partir de los resultados, se evidencia que los principales factores que intervienen en la percepción de los impactos son: la posibilidad de percibir directamente el impacto, la capacidad de comprensión de las causas y procesos que intervienen y la disponibilidad de información. El nivel de identificación con la causa del problema no ejerce tanta influencia en la percepción de los impactos de la minería en Huacamayo.

Se concluye que la débil apreciación del bosque y los servicios que ofrece, sumado a la predominancia de la lógica extractivista, han permitido la toma de acciones que han degradado el ambiente de la microcuenca Huacamayo. Por lo

cual, es importante promover la revaloración de los servicios ecosistémicos. No obstante, la mayoría de la población identifica los principales impactos de la actividad minera y manifiesta su disposición a adoptar medidas para reducir los impactos ambientales mientras no impliquen la privación de su principal medio de sustento. De manera que, se debería aprovechar esta disposición de la población mediante la orientación técnica e incentivos económicos o instrumentos de control. Finalmente, la percepción de un segmento de la población que ignora o rechaza los impactos de la minería sustenta actitudes negativas para el uso sostenible de los recursos. Por lo que es necesaria una mayor difusión de los impactos de esta actividad, especialmente, respecto a la contaminación por mercurio y sus consecuencias sobre la salud humana y el ambiente.

Palomino A. & Ramos O. (2008) en su investigación *Evaluación de la recuperación de oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo – Minera Koricolqui*. Presentada en la UNMSM.

El mineral estudiado corresponde a la Mina Koricolqui S.A.C. ubicada en la provincia de Otuzco, departamento de La Libertad. La caracterización de la muestra se realizó en el microscopio óptico polarizado de la Escuela Académico - Profesional de Ingeniería Geológica de la UNMSM. Observamos la presencia de esfalerita, calcopirita, pirita, electrum, marcasita, arsenopirita, goetita, calcosita, tetraedrita y gangas, siendo las leyes de la muestra de cabeza de 6.63 gr. de Au /TM y 11.22 oz. de Ag /TM.

La primera prueba de flotación convencional de la muestra se realizó a una granulometría de 55% -200 mallas, cuyo balance metalúrgico global nos indica una recuperación de Au = 56.85% y Ag = 44.71%.

En vista de que los resultados obtenidos no fueron muy satisfactorios y teniendo en cuenta el estudio microscópico de las especies mineralizadas, se realizó una etapa de preconcentración al mineral utilizando el concentrador centrífugo Falcon previo a la etapa de flotación a una granulometría de 55% -200 mallas, y se obtuvo una recuperación de Au = 42.68% y Ag = 30.08%. En la etapa de flotación del relave del concentrador centrífugo Falcon, los resultados nos muestran una recuperación de Au = 24.57% y Ag = 28.19%.

Finalmente, la recuperación total del proceso concentrador centrífugo Falcon más flotación del relave Falcon es de Au = 67.25% y Ag = 58.27%. Es aquí donde se observó que con la etapa de preconcentración las recuperaciones en Au y Ag se incrementaron en 10.40% y 13.56% respectivamente.

En la segunda prueba de flotación convencional del mineral inicial, realizado con una granulometría de 66% -200 mallas, los resultados nos indican una recuperación de Au = 62.63% y Ag = 49.36%.

La segunda prueba de preconcentración con el concentrador centrífugo Falcon previo a la etapa de flotación, los resultados nos indican una recuperación de Au = 64.87% y Ag = 16.42%. En la segunda prueba de flotación del relave del concentrador centrífugo Falcón, nos muestran una recuperación de Au = 27.82% y Ag = 38.60%. Entonces se obtuvo una recuperación total del proceso concentrador centrífugo Falcon más flotación del relave Falcon de Au = 92.69% y Ag = 55.02%.

En esta segunda etapa las recuperaciones mejoran sustancialmente incrementándose en 30.06% y 5.66% para el Au y Ag respectivamente, por lo que se toma estos valores como resultado óptimo del proceso.

Paralelamente se realizaron pruebas de cianuración del mineral de cabeza dichas pruebas fueron hechas en diferentes tiempos de agitación. Obteniéndose a 36 horas de cianuración una recuperación de Au = 81.21% y Ag de 52.20%.

2.2 Bases teóricas

Impacto medioambiental por la minería artesanal

Uno de los principales impactos negativos de la minería en general es el que tiene sobre el medio ambiente. El gran movimiento de tierras que ocasiona la extracción de los recursos mineros altera la topología de la zona en donde se realiza la explotación. Por otro lado, los procesos de beneficiación de los minerales producen residuos altamente tóxicos, ya sea por los insumos utilizados o por la liberación de sustancias químicas como resultado del mismo proceso. La concentración de estos residuos y sustancias ejerce un impacto negativo en el medio ambiente, lo cual termina por tener graves consecuencias en los ecosistemas y, eventualmente, en la salud humana. Afortunadamente, el cambio tecnológico experimentado en el sector ha permitido la creación o modificación de las técnicas mineras existentes para que se reduzcan estos impactos ambientales. Asimismo, el diseño de sistemas de manejo ambiental permite la implementación de ciertas prácticas que ayudan a la prevención y/o al control de la contaminación.

Lamentablemente estos avances tecnológicos no son accesibles a los mineros artesanales. En primer lugar, hay una total falta de información por parte de los mineros artesanales sobre tecnologías apropiadas y parámetros técnicos que puedan incidir en la disminución de los impactos ambientales.

Ejemplo de esto, es el desconocimiento de métodos como la cianuración como alternativa para el procesamiento del mineral aurífero y de los parámetros técnicos

que podrían hacerla más eficiente a la amalgamación. En segundo lugar, las tecnologías alternativas requieren de una alta inversión para los mineros, ya sea en términos de aprendizaje o de recursos financieros. En los casos en que se ha optado por la adopción de nuevas técnicas éstas han tenido que ser promocionadas por el gobierno u otro tipo de instituciones. Aún así, como se verá más adelante, los resultados pueden quedarse en un conocimiento de las alternativas pero no en su utilización. En tercer lugar, el desconocimiento de la conexión entre el deterioro del medio ambiente y la salud humana hace que los mineros obvien la necesidad de tener un manejo ambiental adecuado. Por ejemplo, un derrame de mercurio ocurrido en una mina de gran envergadura en el 2000, provocó la contaminación y hospitalización de varios pobladores y la indemnización a las víctimas; la publicidad del hecho llegó hasta los mineros artesanales del Sur Medio y en muchos centros mineros recién se dieron cuenta del peligro que entraña la manipulación directa de mercurio.

Contaminación por mercurio

La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental que ocasiona la minería artesanal.

El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y se viertan al medioambiente en forma líquida o se emanen sus gases libremente. Se estima que cada año se pierden alrededor de 70 toneladas anuales de mercurio líquido en la zona del Sur Medio y alrededor de 15 toneladas en la zona de Puno (Mosquera, Trillo, y Luján, 1999 p.74).

La pérdida de mercurio líquido se produce principalmente durante amalgamación del oro. Como se mencionó en la sección anterior, la amalgamación del oro se produce en los quimbaletes. Una vez lograda la separación del oro, la solución acuosa que queda en el relave tiene alto contenido de mercurio y de oro (de 0.4 a 1.2 onzas de Au/TM). El contenido de esta sustancia será mayor si el mercurio utilizado es reciclado, ya que pierde su poder de amalgamación.

La contaminación con mercurio gaseoso ocurre durante el proceso de refogado, produciéndose la evaporación y liberación del mercurio. Se estima que cada año se libera 20 toneladas de mercurio: 10 liberadas en el Sur Medio y las otras 10 en Puno. Además, se sabe que alrededor de 50% del mercurio liberado luego se precipita y cae en los alrededores del lugar donde se efectuó el refogado.

Si se considera que esta operación generalmente se realiza en la casa del minero, comerciante, acopiador de oro o dueño del quimbalete; no es muy difícil imaginar el peligro al que están expuestos todos los habitantes de estas casas. De hecho, en diferentes estudios efectuados, se ha encontrado altos niveles de mercurio en la sangre en todos los miembros de las familias que habitan en las casas donde se quema la amalgama.

Efectos sobre los suelos

El movimiento de tierras que se efectúa durante la extracción de minerales puede llegar a convertirse en un serio problema por las alteraciones que genera en la topografía de una zona y en la capacidad de regeneración de la flora y fauna.

En Madre de Dios, por ejemplo, la minería artesanal está ocasionando un alarmante aumento de la erosión producto de la tala y quema de bosques, así como el gran volumen de movimiento de tierra que tiene que efectuarse para

explotar los placeres auríferos. En las operaciones donde se utiliza maquinaria pesada, los suelos se compactan impidiendo que la vegetación vuelva a crecer, además de los posibles perjuicios que se dan por la contaminación de lubricantes y combustibles. Por otro lado, los desmontes que se producen al seleccionar la grava aurífera reducen la capacidad del suelo de retener humedad impidiendo el crecimiento de vegetación.

Contaminación de los cursos de agua

La contaminación de los cursos de agua es más evidente en aquellas zonas donde los depósitos son aluviales, ya que el lavado del mineral requiere de grandes cantidades de agua. En Madre de Dios, por ejemplo, el lavado de la grava aurífera a través de las canaletas genera que se aumente la turbulencia de los cauces de ríos. Esta turbidez se debe a la gran cantidad de finos en suspensión que antes de sedimentarse viajan con el cauce durante grandes distancias. El agua turbia impide que los rayos solares lleguen al fondo del río imposibilitando el desarrollo de plancton y otras plantas acuáticas, asimismo dificulta la difusión de moléculas de oxígeno a través de las branquias de los peces. Algo similar ocurre en la zona de Ananea (Puno) al explotar las morrenas.

A pesar de que los depósitos aluviales son beneficiados principalmente por métodos gravimétricos, hay ocasiones en que se utiliza la amalgamación para liberar el oro diseminado contenido en el material fino. La amalgamación y el bateado se realizan a las orillas de los cursos de agua ocasionando pérdidas que terminan por contaminarlos. El mercurio líquido se transforma en el agua en una serie de compuestos que son altamente tóxicos y que contaminan a los seres que viven en los ríos, como los peces, que luego pueden contaminar a su vez al ser humano. Por otro lado, cuando el mercurio se evapora durante el proceso de refogeo, sus moléculas suspendidas en la atmósfera se precipitan por acción de

las lluvias y van a dar a los cursos de agua siguiendo la misma transformación que el mercurio líquido.

El uso de lubricantes y combustibles en operaciones mecanizadas, como aquellas en Madre de Dios, con escaso mantenimiento y sin prácticas adecuadas de manipulación y de eliminación ocasionan que estas sustancias químicas se usen en exceso y se derramen en los suelos o en los cursos de agua. La acción de las lluvias contribuye a que estos contaminantes sean derivados a los ríos.

Efectos sobre el ecosistema

La minería artesanal, al tener un efecto adverso para los cursos de agua, también suele tener serias repercusiones en el ecosistema. En Madre de Dios, donde estos efectos son más patentes, la desaparición de los bosques naturales y la consecuente erosión genera un impacto sumamente negativo en las especies vivientes de la zona. Aparte de la desaparición de la flora y del ruido que generan las explotaciones mecanizadas, los animales que habitan en estos bosques tienen que migrar hacia zonas que no estén siendo explotadas, limitándose así su capacidad de supervivencia. En segundo lugar, el acelerado ritmo de erosión impide que el ecosistema se pueda regenerar. Así, la acción de las lluvias que podrían trasladar material orgánico para cubrir las zonas erosionadas se ve limitada por el grado de erosión alcanzado. En tercer lugar, la excesiva turbidez de los ríos limita la vida de las plantas acuáticas que sirven de sustento para las especies animales que suelen migrar a aguas más cristalinas. En cuarto lugar, la contaminación de las aguas con mercurio y otros contaminantes químicos se traslada hacia las especies vivas con la consecuencia de que aún éstas migren hacia zonas más limpias llevan el mercurio en sus cuerpos. Así, por ejemplo, los peces suelen migrar río arriba donde pueden ser consumidos por poblaciones totalmente ajenas a la minería y, sin embargo, pueden ser perjudicados con la contaminación de mercurio. (Zevallos, 1994, p.27)

Efectos sobre el clima

La atracción de población a los centros de minería artesanal ocasiona un crecimiento desproporcionado de los mismos. Para citar un ejemplo, los pueblos de la provincia de San Antonio de Putina, la mayor concentración de población en la zona cercana a los nevados está ocasionando un deshielo intenso y continuo. Adicionalmente, el quemado de basura (producto de la mayor población) y de hidrocarburos (producto de la misma actividad minera) están agravando esta situación al incrementar el contenido de anhídrido carbónico en la atmósfera, lo que contribuye aún más a su calentamiento (Lázaro, Trillo, Sánchez, 1995, p.95).

El oro y sus propiedades

En el mundo el oro se conoce desde la antigüedad. Por ejemplo, existen jeroglíficos egipcios de 2600 d.C. que describen el metal, y también lo mencionan varias veces en el Antiguo Testamento. El oro es considerado uno de los metales más preciosos y su valor se ha empleado como estándar para muchas monedas a lo largo de la historia.

En los metales bases como el oro y la plata los egipcios distinguían varios tipos de pureza. Dividiéndolo en oro bueno, oro de roca, y oro aleado en sus diversas calidades. En dicha época la refinación de dichos metales era remota. Por lo que consideraban al oro natural como un metal diferente del oro aleado. (Bergamashi, 1987, p.52)

Al crecer la necesidad del dinero, inspira rápidamente una innovación para que aquel opere con mayor facilidad. Los asirios y los babilonios fueron comerciantes más activos que los egipcios y lograron lingotes de oro perfeccionado y uniforme.

Estamparon leones en las pesadas barras de cerca de 14 kg. cada una y grabaron patos en las más pequeñas que pesaban la mitad. Los leones y patos constituyeron una ayuda para la expresión del valor, pero hasta el 600 a.C. las personas deseaban pesar cada trozo de oro. Los pueblos mesopotámicos dividieron asimismo sus caudales auríferos en denominaciones más pequeñas conocidas como talentos, minas y shekels; estos términos pronto se divulgaron a través de Asia Menor y en las ciudades y enclaves griegos de la cuenta mediterránea. El Shekel ha sobrevivido hasta hoy en Israel. (Bergamashi, 1987, p.53)

A los árabes no les resultó difícil acumular tales tesoros: despojaban a sus enemigos derrotados de sus pertenencias, aventajaban a sus competidores comerciales y abrían una gran fuente de oro que en poco hubo contribuido hasta que entraron en juego sus esfuerzos.

Los ejércitos árabes extraían el oro de Persia, Siria, Egipto, Palestina, España y la ciudad francesa de Poitiers, hasta que fueron detenidos allí por Calos Martel, en 732 d.C. Los invasores árabes de Egipto reabrieron minas auríferas de Nubia y Etiopía y amasaron grandiosos tesoros ocultos en las tumbas de los faraones. Las consecuencias económicas de estas conquistas fueron muy importantes, pues pronto consiguieron ingresar en el poder económico bizantino, estableciéndose como comerciantes de ingenio y perseverancia extraordinarios, y logrando nuevas relaciones económicas en el Mediterráneo meridional. (Bergamashi, 1987, p.54)

El dinar, moneda emitida por el califa Abdel-Melik en Damasco. Tenía una pureza en oro del 97 por ciento y era acuñada en grandes cantidades.

El dinar desplazó gradualmente al besante. Los dinares iniciales fueron imitaciones de las monedas bizantinas, con lo que obtuvieron una aceptación inmediata.

La suerte acompañó a los árabes. Como resultado de su conquista y colonización de la costa septentrional de África, establecieron contacto con una fuente aurífera que había hecho la fortuna de Cartago más de mil años atrás. Durante varios siglos disfrutaron de un monopolio virtual de compra del oro que se encontraba oculto al sur de las remotas regiones del Sahara.

Durante el siglo XIX, la explotación del oro tuvo un gran auge que desató la fiebre en California, Canadá, Australia, Alaska y Sudáfrica.

Esto provocó que la producción anual aurífera supere 10 veces el promedio anual en el siglo XVIII, a lo que se sumó la explotación de los españoles de metales preciosos en el nuevo mundo. (Bergamashi, 1987, p.54)

El hallazgo de este metal, fue en muchos casos por accidente. El oro una vez explotado despertaba el interés de las personas, se convertían en codiciosos buscadores y organizaban empresas con equipos pesados. El oro extraído lo transportaban en trenes y barcos hacia los tesoros de los bancos.

El aporte de América del Sur, fue importante desde su descubrimiento en 1492, pero su final se divisaba cuando menguaron los yacimientos del Brasil y la situación bélica, que vivía la mayoría de los países en busca de la tan mentada independencia. (Bergamashi, 1987, p.56)

El “hambre” de oro, movilizó a grandes masas de hombres a los lugares más inhóspitos persiguiendo un sueño de grandeza.(Hurtado, 2003,p.92)

Propiedades del oro

Propiedades físicas. El oro se halla en la naturaleza en una proporción bajísima. Es un metal de color amarillo característico, blando, muy dúctil y maleable, pues puede reducirse a láminas hasta una diezmilésima de milímetro de espesor (pan de oro); en la escala de dureza de Mohs está entre 2.5 y 3 y posee una gravedad

específica de 19.3 gr/ml. Es inalterable frente a los agentes atmosféricos y solo es atacable por muy pocos agentes químicos, como el cloro, el bromo, el agua regia, el mercurio y el cianuro de sodio en presencia de oxígeno. (Dana, 1992, p.37)

Composición y estructura. Entre el oro y la plata, existe una serie completa de soluciones sólidas y la mayor parte del oro contiene plata. El oro de California, contiene de 10 a 15 % de plata y cuando este último elemento está en proporción mayor del 20%, la aleación es llamada electro.

Diagnóstico. El oro se distingue de otros sulfuros amarillos (particularmente la pirita y la calcopirita) y de las pajuelas amarillas de mica alterada por su ductilidad y gran peso específico. Se funde fácilmente a 1063 °C. (Dana, 1992, p.39).

Aunque el oro es un elemento raro, aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades. Se halla corrientemente en filones que tienen relación genética con rocas ígneas de tipo silícico. Gran parte aparece como metal nativo, siendo el telurio y posiblemente, el selenio los únicos elementos que se le combinan en la naturaleza. La principal fuente de oro son los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde junto con la pirita y otros sulfuros, el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían. El oro está simplemente mezclado mecánicamente con los sulfuros y no en forma de combinación química alguna. En la superficie terrestre y cerca de ella, los sulfuros que contienen oro normalmente están oxidados, dejándolo libre y haciendo así su extracción muy fácil. En la mayoría de los filones, el oro está finamente bien dividido y distribuido de forma tan uniforme, que su presencia no puede ser detectada por simple inspección. Los filones que contienen oro, sometidos a la acción del tiempo y meteorizados, liberan el oro que, o bien queda en el manto del suelo, arenas fluviales, o es arrastrado a los arroyos vecinos para formar placeres.

Debido a su gran peso específico, el oro se separa mecánicamente de los materiales más ligeros, de las arenas y lechos de la corriente.

Empleo. El principal empleo del oro se da en joyería, instrumentos científicos, placados electrolíticos, pan de oro, prótesis dentales y en lingotes de inversión.

El comportamiento del oro en circuitos de molienda

Es de particular interés, dado que, a diferencia de otros minerales, se acumula en los circuitos; lo que puede resultar en una molienda excesiva y en dificultades para estimar el grado de oro en finos de ciclón. Esta diferencia en comportamiento resulta de la alta maleabilidad y peso específico del oro, los cuales afectan de manera importante el rompimiento, la liberación, la clasificación y el tiempo de residencia de partículas de oro en un circuito de molienda. Como resultado, se tienen valores diferentes de funciones de quebrado y de selección, y diferentes curvas de eficiencia en clasificación para partículas de oro y ganga. Comparativamente, se producen menos finos del rompimiento de partículas de oro que de partículas de ganga. En clasificación por hidrociclones, el tamaño de corte es más fino para el oro que para la ganga; es decir, la curva de clasificación para partículas de oro es más fina que la de la ganga y del mineral global.

Por la baja cinética de molienda y el corte más fino en clasificación para partículas de oro, se tiene una alta carga circulante de oro en los circuito de molienda, que llega a alcanzar valores de hasta 6,700% (Laplante, 1990). Por lo que los concentradores gravimétricos han encontrado su aplicación en el tratamiento de gruesos de ciclones; precisamente, para recuperar el oro y disminuir su carga circulante en el circuito de molienda.

Concentración centrífuga del oro

La concentración gravimétrica es esencialmente un método para separar partículas minerales de diferente peso específico, por las diferencias en movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad y/u otras fuerzas, como la hidráulica y de fricción. Es el método más sencillo y más económico de todos los métodos de concentración. Su aplicación se recomienda cuando sea practicable, porque permite la recuperación de minerales en tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo costos en trituración, molienda y concentración, y disminuyendo pérdidas en los finos que generalmente se forman en las operaciones de reducción de tamaños.

Los métodos de concentración gravimétrica se agrupan en tres categorías : 1) separación por medio pesado, en la cual las partículas se introducen en un fluido de densidad intermedia, de tal manera que partículas de bajo peso específico flotan y las de alto peso específico se hunden, 2) separación por corriente verticales, en la que se aprovechan las diferencias en velocidades de sedimentación, como en el caso de los Jigs y 3) separación en corrientes superficiales, como en el caso de las mesas concentradoras y los espirales (Brewis, 1995, p.30).

A tamaños finos, las fuerzas hidráulicas y de fricción rebasan a la de gravedad, por lo cual la eficiencia de separación de los concentradores gravimétricos disminuye drásticamente. Para superar esto, se han diseñado concentradores que intensifican las fuerzas gravitacionales para que la separación se lleve a cabo a un valor de varias veces la fuerza de gravedad G 's (Ounpuu, 1992, p.11). Con estos concentradores, se han resuelto muchos de los problemas para la aplicación de la concentración gravimétrica en la recuperación de oro libre en circuitos de

molienda; como son la recuperación de oro de tamaño fino (< 150 micras), el balance de agua, la capacidad, el mantenimiento y el control de la operación de los concentradores en los circuitos.

Los concentradores gravimétricos de este tipo operan con un campo centrífugo de hasta 300 G's. Son fabricados actualmente por Falcon Concentrators Inc. y Knelson Gold Concentrators Inc., en Canadá (Brewis, 1995, p.34). Su operación consiste en introducir pulpa hasta el fondo de un reactor cónico truncado invertido, el cual gira a una velocidad de 400 rpm, para el caso de un concentrador Knelson de 30 pulg de diámetro y capacidad de hasta 40 ton/hora de sólidos. En el fondo del reactor, este concentrador genera cerca de 45 a 47 G's, con lo cual se concentran partículas de oro grueso. A medida que la pulpa asciende verticalmente, el valor de G's aumenta para tener cerca de 68 G's en la base del cono, creando condiciones para la concentración de partículas finas de oro.

La pared del cono está acanalada, inyectándose agua en las canaletas para fluidizar las partículas presentes en ella, evitar su compactación y mejorar la eficiencia en la concentración de oro (Knelson, 1988, p.303).

En las bases teóricas consideramos las siguientes apreciaciones:

- **La Minería Artesanal una Oportunidad de Oro para los Pobres del Perú - Proyecto Gama, Cooperación Bilateral entre los Gobiernos de Suiza y Perú**

La minería artesanal es una actividad que involucra a no menos de 40 mil familias peruanas (estudio realizado por Proyecto Gama Setiembre del 2001), provenientes de todos los rincones del país, que han encontrado una gran oportunidad para salir de la pobreza y combatir el desempleo, forjando un futuro mejor con sus propias manos con poca inversión, tecnología sencilla y trabajo intensivo aprovechan

aquellos yacimientos que para la minería convencional han dejado de ser atractivos hace décadas.(Viñas & Aranibar 2003, p.12).

Esta actividad toma un gran impulso a partir de los años 80, alimentado por procesos migratorios generados por la recesión económica, la crisis del agro y la violencia política.

De acuerdo a cifras oficiales, la minería artesanal produce 17 toneladas de oro al año, lo que representa aproximadamente 150 millones de dólares. Estas características reflejan el gran potencial de esta actividad para contribuir a la generación de empleo, reducción de pobreza, desarrollo local, obtención de divisas e ingresos fiscales.

A pesar de su enorme potencial, la minería artesanal enfrenta ciertas dificultades como: campamentos espontáneos, hoy son centros poblados desordenados y sin servicios básicos, donde las cercanías de socavones y viviendas atenta contra la salud de sus pobladores. Al peligro del trabajo en la mina se suman los riesgos de la contaminación ambiental, sobre todo por el mercurio ya que una vez expuesto al medio ambiente la rehabilitación de áreas contaminadas por este metal líquido es complicada y costosa.

Las condiciones de la informalidad durante décadas, la visión de los mineros y sus familias se redujo a metas inmediatas y de supervivencia. Quedaron relegados el desarrollo comunitario, la inversión en la mina y sobre todo la organización social. El trabajo infantil es apenas uno de los efectos más visibles de esta situación, pero tratándose de las futuras generaciones, es uno de los problemas que más nos debe preocupar. La consolidación de una nueva minería artesanal formal es uno de los grandes retos nacionales para esta década.

Los mineros artesanales se encuentran ahora en la obligación y oportunidad de organizarse y formalizarse, con ello podrán acceder a concesiones mineras propias en áreas libres o negociar con los titulares mineros existentes. Viñas R. Aranibar A. (2006, p.51).

Es más, la organización de los mineros artesanales en forma de asociaciones, empresas o cooperativas locales permite su organización a nivel nacional en forma de representaciones gremiales, un ejemplo de ello son las comisiones regionales de mineros artesanales ya operativas en el Sur- Medio, en Puno y en Madre de Dios.

Otro gran reto es la tecnificación de las actividades minero artesanales, lo cual no implica la incondicional sustitución de mano de obra por máquinas; esto es un trabajo artesanal que puede y debe ser realizado en forma técnica. La introducción de molinos de bolas en la Rinconada, luego de la electrificación para sustituir los quimbaletes, es un ejemplo que demuestra que los mineros artesanales son capaces de tecnificarse.

Al cambiar las formas de trabajo, también cambiarán las restricciones económicas individuales y condiciones sociales; principales causantes del trabajo infantil. Un reto de alta prioridad es la erradicación progresiva del trabajo de menores en la minería artesanal; por supuesto, paralelamente debe desarrollarse una oferta alternativa de opciones educativas para que no quede la mina como única cancha de juego y escuela para la vida. Programas complementarios de atención a la niñez, atención a la salud y de desarrollo comunitario son pues indispensables.

Mejorar las condiciones de vida para las actuales y futuras generaciones de familias de mineros artesanales, requiere al mismo tiempo una adecuación de las

condiciones de seguridad y medio ambiente. Los niveles de contaminación deben ser reducidos a los mínimos posibles.

Los mineros artesanales no sólo tienen obligaciones, sino también derechos como todos los ciudadanos peruanos, pues su formalización y organización los incorpora inmediatamente en la denominación sociedad civil peruana. Pero ello también supone un reto histórico para el estado peruano en su rol promotor del desarrollo y el bien común.(Long & Roberts (2001, p.14)

- **Analizando Problemática de la Minería Artesanal del Perú- Grupo Punored S.A.C, Diario los Andes. 13 de Diciembre 2009**

Con el propósito de analizar y debatir la problemática de la minería artesanal del país, la Federación Nacional de Mineros Artesanales del Perú (FERNAMARPE), presidido por Teódulo Medina, en coordinación con la Asamblea de los gobiernos Regionales y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMET), organizaron un Fórum denominado “Análisis y Perspectivas de la Minería Artesanal en el Perú”. El evento se desarrollo los días 2 y 3 de Diciembre, en el auditorio José Faustino Sánchez Carrión del Congreso de la República, a donde asistieron autoridades representativas, así como de las diferentes asociaciones de mineros artesanales del país. La congresista Susana Vilca participó como panelista, quién demandó realizar un censo a los trabajadores mineros artesanales del Perú. Allí se debatió el informe del grupo técnico multisectorial y el nuevo rol que deben asumir los gobiernos regionales en la minería artesanal, además de la formalización para que los más de trescientos mil trabajadores artesanales del Perú, cumplan con sus labores dentro del marco legal y paguen sus impuestos al Estado. “Creo que es de gran importancia este tipo de eventos para discutir y encontrar alternativas de solución a los diferentes problemas que afronta la minería artesanal del país.

Saludo a todos los trabajadores mineros artesanales del Perú, conozco de cerca el tema, por ello estoy con ustedes apoyando con intermediaciones ante las instancias pertinentes y con iniciativas legislativas ante el Congreso de la República; mi compromiso es defender la dignidad del trabajador minero artesanal siendo de gran importancia la formalización, con transparencia y equidad”, expresó la congresista Vilca.

- **Opinión del Sociólogo Percy Bobadilla. Profesor de la Facultad de Gestión y Alta Dirección de la PUCP.**

La minería artesanal en el Perú y su empoderamiento suponen muchos desafíos en un contexto en la cual la gran minería crece a gran escala. Si bien es cierto que, en muchos casos, la minería artesanal fomenta la contaminación ambiental con metales pesados y la erosión de tierras, así como la evasión tributaria, también tiene un lado positivo que se traduce en nuevas formas de organización social en zonas inhabilitadas y de lucha contra la pobreza. Por todo eso, es necesario promover el conocimiento de la ley de Minería Artesanal que busca regular, sobre todo, formalizar ésta actividad.

2.3 Marco epistemológico de la investigación

El pensamiento ambiental es un planteamiento en formación que, para consolidarse, encuentra en su camino muchos obstáculos epistemológicos. Ello se debe fundamentalmente a la formación del pensamiento moderno. La ciencia dominada por el positivismo ha impulsado la especialización como estrategia básica en el desarrollo del conocimiento. Se trata de una ciencia aplicada directamente al manejo tecnológico del mundo. Ello exige la especialización, que

parte tanto de presupuestos del racionalismo cartesiano como de los postulados del empirismo. La consecuencia ha sido la incapacidad de la ciencia moderna para entender y manejar sistemas y por supuesto para ubicar al hombre dentro del sistema de la naturaleza. El pensamiento ambiental incipiente, presente en Spinoza y en algunos pensadores de la época de la ilustración, fue sepultado por la filosofía kantiana, que representa, a no dudarlo, el fundamento más claro del Paradigma Epistemológico de la Modernidad. Con Kant se instala en la ciencia moderna la separación tajante entre ciencias de la naturaleza y ciencias del «espíritu». En esta forma, el análisis del comportamiento humano es desligado de sus raíces naturales y las ciencias humanas se instalan definitivamente en el limbo de un sobrenaturalísimo filosófico, del cual no han logrado descender todavía si no es por la vertiente erosionada del reduccionismo.

La búsqueda de un modelo de desarrollo que respete la conservación de los recursos naturales ha llevado a la doctrina más especializada a hablar de «Desarrollo Sostenible» o «Desarrollo Sostenido». Al interior de tal modelo se han elaborado una serie de propuestas económicas encaminadas a la protección ambiental como garantía de supervivencia de las futuras generaciones.

El hombre tiene el derecho a la libertad, igualdad y adecuadas condiciones de vida, en un medio ambiente de una calidad que permita una vida de dignidad y bienestar.

El concepto de desarrollo sustentable nació de un proceso histórico en que la sociedad y los políticos tomaron conciencia de que algo falló en la operatividad del modelo económico neoliberal. Lograr crecimiento económico sostenido en un marco de recursos finitos es una utopía prácticamente imposible de alcanzar. Disminuir los gases de invernadero que provocan el calentamiento global, controlar la reducción de la biodiversidad, abatir la pobreza y hacer racionales

nuestros hábitos de consumo sin cambiar el modo de producción, es parte de esa entelequia.

En un mundo injusto, diría Aristóteles, mejor padecer la injusticia que cometerla, pero mejor aún es no tener que padecerla ni cometerla. ¿Por qué hemos de aceptar un mundo en que el virtuoso sea necesariamente infeliz? Aquí encontramos el entronque de la ética con la política. Una sociedad aceptablemente justa es aquella en que la buena vida y la vida buena no son incompatibles. No es que aspiremos a un reino terrenal perfecto en que la virtud sea siempre recompensada. Es más, este tipo de maximalismos utópicos han traído históricamente más sufrimiento que justicia. Pero sí se pueden pedir algunas reformas, para que cada cual pueda buscar su felicidad de modo íntegro, sin tener que elegir entre bienestar y virtud. De la misma forma, la ética ambiental no puede consistir sólo en un conjunto de prohibiciones dirigidas a la protección del medio a costa del sacrificio de las personas, sino que también tiene su cara política. La ética ambiental tiene que hablarnos también del tipo de sociedad en la que una persona que favorezca la conservación del mundo natural pueda, si no darse la buena vida, sí al menos llevar una vida agradable y digna. Dicho de otro modo, no se pueden separar ética ambiental y política ambiental. Y, en el terreno político, el aristotelismo se presenta como un reformismo. Huye tanto de los planteamientos utópicos, que tienden a sacrificar lo bueno presente en aras de lo mejor futuro, como del inmovilismo, que impide la crítica y el progreso. En cuanto a la política ambiental, esto podría traducirse hoy en una crítica prudencial de la tecnociencia. Esta visión crítica de la tecnociencia desde la ética quizá decepcione a científicos y tecnólogos, a los que piensan que el progreso humano consiste en el adelanto de la tecnociencia. Pero, por otro lado, el aristotelismo aplicado a la política ambiental invita a la aceptación y valoración positiva del progreso tecnocientífico, del bienestar y del saber que mediante el mismo se ha logrado, antes que a un rechazo frontal y utópico de la tecnociencia. Esto quizá decepcione

al ecologismo más radical. Merece la pena, no obstante, mantener en mente ambas caras de la tecnociencia, y tratar mediante reformas sensatas de potenciar su capacidad de progreso y minimizar su potencial para producir daños.

2.4 Marco conceptual

Alimento.- Conocido también como cabeza, es el mineral bruto que se alimenta a la planta de beneficio ó prueba metalúrgica.

Amalgama.- Es la aleación de mercurio con oro o plata. Al entrar en contacto el mineral, las partículas de mercurio se adhieren con el oro o plata y forman una masa plástica de la cual se puede separar el oro por medio de una destilación o el quemado directo.

Contaminación Ambiental.- Es todo cambio indeseable en las características del aire, agua, el suelo y los alimentos que afecta nocivamente la salud, la sobrevivencia o las actividades de los humanos u otros organismos vivos (Tyler Miller 1994).

Refogado de Amalgama.- proceso de separación técnica de la amalgama en oro y mercurio, evaporando el mercurio con un soplete o con otros fuetes de calor intenso.

Harina de Mercurio.- llamado también mercurio molido (atomizado), conocido también como “mercurio enharinado”, es la principal forma en que se pierde mercurio y se emite este elemento al medio ambiente en la pequeña y minería artesanal.

Deslame.- remover las partículas finas o lamas producidas durante la amalgamación y refinación en el proceso lavándolo con un flujo continuo de agua hacia afuera del quimbaleta.

Impactos Mineros.- Los impactos ambientales producidos por la presencia de los relaves mineros-metalúrgicos se dividen en: atmosféricos, paisajísticos, hidrológicos, edáficos y florísticos.

Innovación.-El término innovar etimológicamente proviene del latín innovare, que quiere decir cambiar o alterar las cosas introduciendo novedades.

La innovación es el proceso de integración de la tecnología existente y los inventos para crear o mejorar un producto, un proceso o un sistema. Innovación en un sentido económico consiste en la consolidación de un nuevo producto, proceso o sistema mejorado

Leyes Mineras.- Son las normas que rigen la actividad minera en los factores de diseño, condiciones físicas, eléctricas, mecánicas, ambientales, entre otros, que presentan condiciones de riesgo inminente.

Medio Ambiente.- Es el entorno vital; el conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia. No debe considerarse pues, como el medio envolvente del hombre, sino como algo indisociable de él, de su organización y de su progreso (Gómez Orea, 1988).

Mercurio.- El mercurio es el único metal líquido a 0 °C, la principal vía de entrada del mercurio metálico en el organismo es la pulmonar, como consecuencia de la inhalación de los vapores, el polvo mantiene el mercurio en forma de finas partículas por tanto, el aire en una gran superficie favorece su evaporación. La vía subcutánea es una vía de penetración accidental, las manifestaciones clínicas debidas a la exposición crónica del mercurio suelen evolucionar en forma indistinta desde gingivitis y estomatitis (salivación excesiva, encías inflamadas) sabor metálico, caída de los dientes, ribete mercurial, alteraciones del SNC (temblor de párpados, dedos y labios) que consiste en cambios de carácter, de personalidad y rendimiento psicomotriz (timidez, pérdida de autocontrol, negligencia en el trabajo, cambio de humor, irritabilidad, inversión del sueño, pérdida de memoria, alucinaciones) hasta estados maníaco-depresivos, etc.

Minería Artesanal.- En forma personal o como conjunto de personas o jurídicas se dedican habitualmente y como medio de sustento a la explotación y/o beneficio directo de minerales, realizando sus actividades con métodos manuales y/o equipos básicos.

Molienda.- La molienda es la operación unitaria que efectúa la etapa final de reducción de tamaño o la liberación de las partículas valiosas del mineral. Lo que se trata de hacer en esta etapa, es la reducción de tamaño del material desde una dimensión máxima de alimentación que va desde 9,000 a 10,000 micrones (3/8 pulgada), hasta un producto límite cuyo tamaño más grande varía de 35 a 200 malla (420 a 74 micrones). El tamaño óptimo de liberación se determina usualmente mediante consideraciones técnicas y económicas. Cuanto más fino se muele el mineral, mayor es el costo de molienda y hasta cierto grado, una molienda más fina conlleva a una mejora en la recuperación de valores. De acuerdo a esto, la molienda óptima es aquella malla de molienda en la cual los

beneficios son máximos, cuando se considera tanto el costo de energía, así como los retornos de dólares de los productos.

Muestreo.- Es una secuencia de operaciones selectivas y no selectivas realizados sobre un lote de mineral acumulado en la cancha de gruesos de la planta finalizando con la extracción y preparación de una o varias muestras para su análisis físico, químico y/o pruebas metalúrgicas.

Retorta.- Se denomina así al horno de recuperación de mercurio utilizado en el refogado de la amalgama de oro y mercurio, dentro del cual una corriente de aire arrastra los vapores de mercurio producto de refogue hacia una zona de condensación y el mercurio otra vez líquido es recogido en un envase.

Recuperación.- Es el método por la cual es recuperado un elemento valioso y es expresado en porcentaje.

Tecnología limpia.- Es la tecnología que al ser aplicada no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales (ecosistemas).

2.5 Trabajos realizados en la minería artesanal

2.5.1 El Quimbaleta como equipo de refinación y amalgamación

El quimbaleta es una suerte de mortero de gran tamaño (ver figura 2.1).

Se trata de una piedra cincelada a pulso para darle una forma ligeramente ovalada en su base, que permita un movimiento de vaivén con un mínimo esfuerzo. En el Sur-Medio las dimensiones del mortero son generalmente 70 – 100 cm por 35 - 55 cm de sección y 50 – 8cm de alto, y en la parte

superior del mismo se fija un tablón horizontal para sostener al operador, sin embargo estas dimensiones son solamente referenciales, ya que varían de localidad a localidad. La base del quimbaleta o mesa es una roca plana en su parte superior, que ha sido tallado también a pulso. Utilizando cemento y rocas se construye una pared perimétrica para formar la taza del quimbaleta. Un tubo empotrado en la parte inferior de la pared frontal permitirá la descarga controlada de la pulpa al final de la operación. El costo de construcción de un quimbaleta es de aproximadamente 300 \$ US, sin incluir el transporte de las piedras al lugar de destino. El sueldo del picapedrero para tallar la piedra y mesa así como también construir la taza es aproximadamente 600 Soles. Para la construcción de la tasa del quimbaleta se utilizan aprox. 5 bolsas de cemento y una cantidad de 300 – 400 Kg de piedras canteadas. Las piedras para la mesa y para el macho se buscan en el río Acarí y se las arrastran con un tractor al lugar de la construcción del quimbaleta.



Fig. 2.1 La Operación con el Quimbaleta.

Fuente: Coyla, U (2007)

El quimbaleta puede tener una vida útil hasta 8 a 10 años que depende de la intensidad de su uso y de los tipos de materiales de construcción de la piedra y de la mesa. Normalmente se utiliza un basalto o un granito para los trabajos de tallar el quimbaleta. Un quimbaleta construido con basalto resulta más duro y tiene por eso más vida útil. Por otro lado un factor importante para la vida útil del quimbaleta es la dureza del material procesado. Según los criterios de los operadores consideran el quimbaleta duro mejor que el blando sin embargo las pérdidas de mercurio deben ser iguales en ambos tipos de quimbaleta.

Trabajando continuamente el quimbaleta necesita cada 2 a 3 meses un reacondicionamiento por un picapedrero devolviendo a la piedra y mesa gastada en la operación su forma ovalada original (picando volante). El desgaste en la operación resulta en una forma redondeada de la superficie de la mesa y en la disminución de la curvatura de la piedra previniendo un movimiento liso de rodadura de la piedra sobre la mesa. En vez de eso, el desgaste provoca un movimiento tambaleante golpeando el mineral y el mercurio (chancar el mercurio) generando en este estado también una gran pérdida de harina de mercurio. Por el otro lado la recuperación de oro se mejora si el quimbaleta está “chancando”. Las figuras siguientes 2.2 y 2.3 muestran esquemáticamente un quimbaleta recién picado y un quimbaleta gastado.

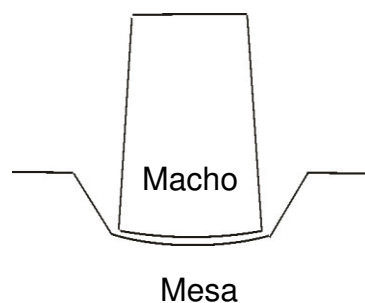


Fig. 2.2 Quimbaleta Gastado

Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

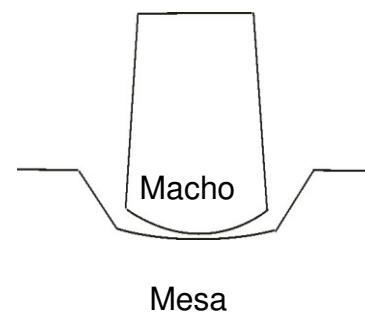


Fig. 2.2 Quimbaleta Recién Picado

Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

Como consecuencia los planteros aspiran a mantener sus quimbaletes en buen estado para mejorar la ley de los relaves producidos, mientras que los mineros, que conocen el comportamiento de los quimbaletes buscan quimbaletes que golpeen para mejorar la recuperación de oro.

En general las pérdidas de mercurio líquido se producen, durante el proceso de amalgamación por el continuo “quimbaleteo” (movimiento de la piedra “macho” sobre la base), que causa que el mercurio se disgregue en partículas finas (perlitas de mercurio) o muy finas (conocidas como “harina de mercurio” o “mercurio quemado” que en ciertas condiciones puede hasta flotar), que han perdido su capacidad de captar las partículas de oro libre y que, por rebose de los quimbaletes, son arrastradas conjuntamente con el relave al pozo de sedimentación. Las perlas y perlitas de mercurio que se pierden en el proceso y que fácilmente son visible a simple vista tienen un tamaño de 0,5 mm hasta 1 mm, que normalmente es recuperable en una trampa simple como en una tina plástica puesta debajo de tubo de salida del quimbalete o en el pozo de sedimentación construido entre quimbalete y piscina de sedimentación y llamado “chocha”. La harina de mercurio puede ser vista solamente después de una concentración de los relaves con platón o challa. Una microscopía de la harina revela que la granulometría de la harina de mercurio va de 10 a 30 micrones.

Cuando la ley del mineral es considerada baja se muele en molinos de bolas discontinuos, de 220 a 450 Kg. (7 a 15 latas) de capacidad y accionados por motores independientes de combustión interna o acoplados al eje de tracción de tractores agrícolas.

Un molino típico polvoriza una carga de 400 a 450 Kg de mineral en una hora y media a un grado suficientemente fino para la refinación en el quimbaleta. La molienda se hace por general en seco, pero no con el propósito de ahorrar agua, pues el mismo molino es usado por diferentes mineros el mismo día. La recuperación y calidad del oro, y la recuperación del mercurio es mucho mayor en el procesamiento directo que con el procesamiento previo en la molienda. La diferencia es más notoria cuando los minerales contienen minerales oxidados de cobre y sales solubles.



Fig. 2.3 Molino de Bolas
Fuente: Wotruba, H. Vasters, J (2002)

En la zona Sur-Medio, donde el oro ocurre principalmente en forma de óxidos o como pirita aurífera, y los relaves tienen alto contenido aurífero (se estima que los mineros solo recuperan por la amalgamación el 40 a 50% del oro total), los dueños de quimbaletes se quedan con los relaves a cambio del servicio del “quimbaleta”. Por lo que los relaves son comprados y finalmente reprocesados en plantas de cianuración.

2.5.2 Condiciones del quimbaleta y parámetros de operación

Las condiciones y los parámetros de operación del quimbaleta son:

- Carga de material: 18.5 a 24 Kg cada 25 a 30 minutos
- Porcentaje de sólidos durante la amalgamación: de 40 a 50% de sólido
- Peso de 1 litro de pulpa: de 1.346 Kg a 1.474 Kg
- Ángulo de la taza del quimbaleta con el horizontal: 35° a 40°
- Altura del tubo de la descarga: 10 a 21 cm sobre nivel de la mesa

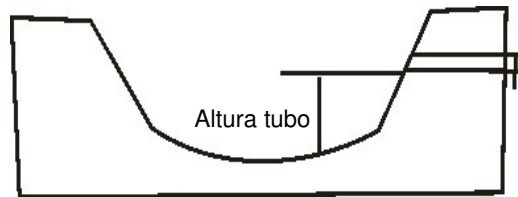


Fig. 2.4 Altura del Tubo
Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

- Curvatura de la piedra en la superficie de la molienda aproximada por el ángulo de la secante de la línea central piedra a altura del borde con la superficie de la mesa: 12.8° y 18.5°

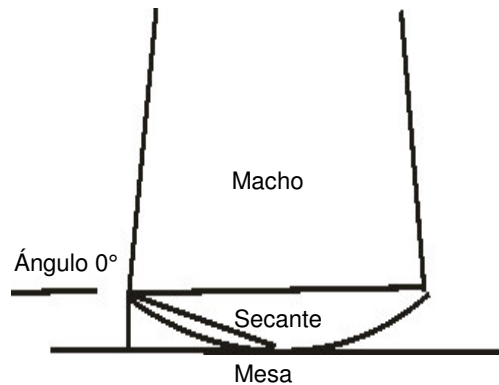


Fig. 2.5 Ángulo de la Secante
Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

- Estado de desgaste de los quimbaletes usados: recién picado (12.8°) hasta necesidad eminente de picar (18.5°)
- Frecuencia del vaivén: de 40 a 60 movimientos por minuto
- Dimensiones de la mesa del quimbaleta: 48 – 54 cm de ancho y 90 a 114 cm de largo, forma ovalada
- Dimensiones del macho: sección 46 a 56 cm de ancho y 66 a 76 cm de alto (forma de barril), 83 a 115 cm de largo.
- Peso aprox. del macho: 600 a 930 Kg.
- Agua utilizada para el deslame: de 250 a 300 lts.
- Duración del deslame: de 4 a 7 minutos.
- Estas condiciones de trabajo y dimensiones de los quimbaletes son típicas para la zona Sur-Medio y por lo tanto se puede concluir que los resultados de los ensayos, utilizando el mismo tipo de material, son representativos y reproducibles en otros quimbaletes de la misma zona.

2.5.3 Pérdidas de mercurio

Las pérdidas de mercurio en el proceso tradicional de amalgamación en quimbaleta en el pasado fueron en general sobreestimadas en la zona de Huanca. Los resultados de ensayos representativos realizados muestran que las pérdidas de mercurio en promedio son aproximadamente 100 grs. Hg/día y llegan como máximo a 200 grs. de Hg/día.

En el informe Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y Planteamientos para la reducción o minimización de la contaminación de origen minero en las cuencas del grupo C: Costa Sur y Arequipa elaborado por la Empresa Klohn Crippen – SVS S. A. En el año 1998 para el Ministerio de Energía y Minas se estima las pérdidas de Hg a 625 grs. /día.

Suponiendo en Huanca un número de 205 quimbaletes existentes ellos calcularon un consumo diario para la zona Huanca de 127 Kg/día.

2.5.4 Utilización de reactivos en el proceso

Normalmente no se trabaja en el quimbaleteo con reactivos. Por una parte porque se desconoce los efectos de los reactivos y por otra parte por el precio relativamente alto y las dificultades logísticas de conseguirse reactivos más sofisticados. La única excepción es la utilización frecuente de cal y carburo cuando se trabaja material con alto contenido de sulfuros. Para limpiar el mercurio antes de agregarlo al quimbaleta algunos mineros utilizan el detergente “Ace”, que además se usa para limpiar la amalgama producida con el objetivo de conseguir en la quema de oro de mejor apariencia. No obstante, en la literatura técnica sobre la amalgamación así como en la experiencia colectiva de la minería artesanal en otros países

figura una amplia lista de reactivos que pueden mejorar el rendimiento de la amalgamación y ayudar en reducir las pérdidas de mercurio.

En la literatura investigada se encontró las siguientes indicaciones para el uso de reactivos en la amalgamación.

- Hidróxido de sodio (soda cáustica). Además de ser usada como agente neutralizante, elimina las grasas que existen en la pulpa. Los dueños de los quimbaletes en parte rechazan su uso por el posible aumento del desgaste del quimbalete.
- Nitrato de potasio (salitre de potasio). Limpia las superficies mohosas del oro.
- Plumbado de sodio. Evita la alteración del mercurio logrando su estabilidad.
- Dicromato de potasio. Se adiciona con la cal para limpiar la superficie de oro manchado con óxidos de hierro hidratado (limonitas).
- Cianuro de sodio. Para neutralizar las sales producidas por la descomposición de los sulfuros y limpiar las superficies del oro y del mercurio
- Cal viva. Para neutralizar la acidez en el medio acuoso. El mercurio en medio ácido (menos de 7) se oxida fácilmente, perdiendo sus propiedades amalgamadoras, además es coadyuvante con otros reactivos.
- Amalgama de sodio. Para activar el mercurio y mejorar la coalescencia del mismo.
- Litargirio (óxido de plomo): Previene la generación del ión sulfuroso en la pulpa porque el ión de plomo tiende a precipitarse en cualquiera superficie sólida donde estaba el ión sulfuroso disponible de tal manera que está superficie está cubierta por el ión de plomo, reduciendo la emisión de otros iones sulfurosos.

- Azúcar chancaca : Limpieza del mercurio y del oro mohoso, además es coadyuvante con otros reactivos (probado en Ecuador)
- Jugo de sisal y de otras plantas: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante de la aglomeración y sedimentación de sólidos en suspensión.
- Detergente (Ace): Limpieza del mercurio y del oro mohoso, mejora la apariencia del oro.
- Sal de la mesa: Limpieza del mercurio y del oro mohoso, coadyuvante. Utilizado ya en la época de los españoles como coadyuvante en la amalgamación.

2.5.5 Deslame con trampa interna

Observando el proceso del quimbaleteo, se dio cuenta que la manera en que se efectúa el deslame tiene una gran importancia sobre las pérdidas de las partículas mayores de mercurio hasta 1 mm de diámetro, también denominadas perlas de mercurio. En una hipótesis referente a las pérdidas de las perlas se estableció la presunción que las perlas de mercurio durante el deslame en realidad no se encuentran en el estado de suspensión, sin embargo rodean sobre el fondo y la pared inclinada de la taza arriba hasta el tubo de desagüe del quimbalete impulsado por el vaivén del macho. En este caso, se puede suponer que un cuello, puesto en el tubo durante es deslame, que sobresale en la taza, podría impedir, que las perlas de mercurio pueden entrar en el tubo y pueden ser arrastradas fuera del quimbalete por la evacuación de la pulpa. Los resultados de los ensayos, donde se aplicó un cuello, mostraron en la mayoría de los casos una disminución considerable de las pérdidas de mercurio en el proceso hasta 53 %.

2.5.6 El repaso de relaves de la piscina de sedimentación utilizando una canaleta de concentración

Con el objetivo de estudiar la factibilidad de la canaleta de operar como una trampa para harina de mercurio se repasó en 3 ensayos relaves del quimbaletto que provinieron de la piscina de sedimentación. La harina de mercurio se encuentra en los relaves en forma libre y abundante, sobre todo en la fracción fina, que se acumula en las esquinas opuestas al lado donde entran los desagües de los quimbaletes en la piscina de sedimentación. Esta harina es fácilmente separable de las arenas y lamas en una batea o en un platón. Las figuras 2.7 y 2.8 muestran las operaciones de repulpear los relaves en el quimbalete y concentrar la pulpa en la canaleta de concentración.



Fig.2.6 Trabajo de la Canaleta con Relaves

Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)



Fig. 2.7 Agregando Relaves y Agua

Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

Los resultados de estos ensayos mostraron, que se puede recuperar hasta 122 gramos de mercurio por tonelada de relaves reprocesados. Asumiendo una concentración en promedio de 350 a 450 gramos de mercurio en los relaves, se puede recuperar hasta 35 a 27% del mercurio de una granulometría fina por medidas gravimétricas en una canaleta. Estas cifras sirven como referencia para evaluar el funcionamiento de las trampas de mercurio instalado en el desagüe del quimbalete.

Un hallazgo importante fue la recuperación de amalgama en el repaso de los relaves. En los ensayos realizados se recuperaron respectivamente 35.5, 15.0 y 13.2 grs. de Amalgama, que significa que se pierde en el proceso tradicional del quimbaleteo una cantidad considerable de oro, que eventualmente sería recuperable por una canaleta de concentración o por un segundo proceso de concentración en la planta de quimbalete.

2.5.7 Trampas de mercurio instalado en el desagüe del quimbaleta

En algunos casos aislados se ha visto entre la salida de pulpa del quimbaleta y la piscina de sedimentación construcciones de “mini-canalones”, supuestamente diseñados para recuperar harina de mercurio y sobre todo amalgama. Asimismo, frecuentemente se puede observar la utilización de recipientes o bateas en la salida de pulpa del quimbaleta, que hacen la función de “trampa de mercurio” con la finalidad de recuperar amalgama y perlas de mercurio.

En el fondo del corto conducto (canal abierto) que generalmente conecta el quimbaleta con la piscina de sedimentación (y que de todas formas actúa como canalón), a menudo se puede observar pequeñas bolitas de mercurio de hasta un milímetro de diámetro. Estos hechos dejan pensar que trampas de mercurio pueden trabajar eficientemente para recuperar por lo menos las perlititas de mercurio de mayor tamaño. Las trampas de mercurio en general utilizan las diferencias de los pesos específicos de mercurio y amalgama de los minerales acompañantes para efectuar una concentración gravimétrica. Estas trampas pierden su eficiencia con la disminución del tamaño de las partículas pesadas. Una partícula redonda de oro de 20 micrones cae en un medio acuoso con la misma velocidad de caída que tiene una perlita de Hg de 24 micrones que corresponde a su vez a la velocidad de caída de un granito redondo de cuarzo con un diámetro de 67 micrones. Esto significa que es muy difícil recuperar la harina de mercurio, que tiene un rango de diámetros entre 10 y 30 micrones, con un factor alto de concentración, porque se va a recuperar también una gran cantidad de partículas de cuarzo de una mayor granulometría. En la práctica las trampas de mercurio tienden a embancarse con arenas.

En los ensayos se utilizó para recuperación del mercurio perdido canaletas de diferentes longitudes cubiertas con pañuelos y alfombras de distintos tipos. Aparte de aprovechar los principios de la concentración gravimétrica para la recuperación del mercurio, en el fondo de estas canaletas se producen micro turbulencias y efectos que también tienden a retener oro fino y mercurio. Las figuras 2.9 y 2.10 muestran dos canaletas que se utilizaron en los ensayos como trampa de mercurio.



Fig. 2.8 Canaleta Metálica con Alfombra
Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)



Fig. 2.9 Canaleta Rústica con Toallas
Fuente: Wotruba, H. Vasters, J. (2002)

Otra alternativa es el aprovechamiento de las características físico-químicas del mercurio para capturar las perlitas y la harina de mercurio que sale del quimbalete con la pulpa en la etapa de deslame. Un equipo adecuado para este fin sería la placa amalgamadora (figura 2.11), que es una lámina de cobre, cuya superficie está cubierta con una película fina de mercurio. Esta película estacionaria de mercurio entra en contacto con las partículas de oro y mercurio que contiene la pulpa.



Fig. 2.10 Canaleta con Placa Amalgamadora como Trampa
Fuente: Wotruba, H. Vasters,J. (2002)

2.5.8 La recuperación del mercurio líquido a partir de los concentrados con harina de mercurio

Harina de mercurio una vez disipada en la pulpa o en los relaves muestra muy poco afán de reunirse de nuevo, formando perlitas mayores de mercurio que fácilmente pueden juntarse, por ejemplo en una tina o una batea. Presionando la harina con la fuerza de los dedos, se puede efectuar una cierta coalescencia de la harina de mercurio. Sin embargo, eso presupone que se ha concentrado previamente la harina en un recipiente adecuada por ejemplo una batea o challa. Concentrando a mano con batea

la harina de mercurio contenida en los relaves o en los concentrados de las trampas de mercurio, se tiene que invertir mucho tiempo de trabajo y este trabajo solamente tiene poca recompensación económica. Esto es el trasfondo para buscar un método adecuado para producir un concentrado de harina de mercurio y trasladarla en su estado líquido.

Partiendo de los concentrados que resultaron del repaso de los relaves se investigó la posibilidad de una segunda concentración utilizando los principios de la flotación así como también el repaso de los concentrados al quimbalete para efectuar una amalgamación en un quimbalete cerrado.

2.5.9 Sistema de preconcentración gravimétrica y amalgamación del preconcentrado.

Para evitar que todo el volumen del material que esta para procesar en el quimbalete, entre en contacto y resulte contaminado con mercurio una estrategia recomendable es la preconcentración del oro y la amalgamación posterior del preconcentrado en condiciones cerradas para evitar escapes del mercurio y del oro.

Para investigar la posibilidad de la preconcentración del oro en el caso de Huanca se estudió el desempeño de dos diferentes sistemas de concentración: el sistema que combina el quimbalete con la canaleta de concentración aprovechando la capacidad del quimbalete de refinar el mineral y clasificar la pulpa así como también un sistema de lavado directo del mineral polvorizado a través de la canaleta de concentración produciendo un preconcentrado sin uso del quimbalete. Con el fin de optimizar la canaleta se experimentó con diferentes tipos de trampas de oro, probando una cubierta del fondo de la canaleta con alfombras y

pañuelos de corduroy y así como con piezas de cuero de cordero. La longitud de las canaletas instaladas de concentración varió entre 3.6 y 4.8 metros. (Wotruba, & Vasters, 2002 p.23).

El esquema de operación del sistema que combina quimbalete y canaleta fue el siguiente: El material polvorizado anteriormente en el molido a bolas fue agregado a mano con una dosificación determinada al quimbalete junto con un chorro continuo de agua. La tarea del quimbalete fue empulpar el polvo de mineral así como refinar y clasificar el mineral en una manera que saliera del quimbalete una pulpa conteniendo finos con una estrecha granulometría. Esta pulpa fue dirigida por codos y tubos a la canaleta donde se efectuó la concentración gravimétrica. La canaleta fue instalada con una pendiente de 10 a 12%. El levantamiento así como el lavado de las alfombras y pañuelos de la canaleta se realizó en intervalos de 20 minutos a 45 minutos según el control del descarte de la canaleta por oro.

El caudal de agua en este sistema fue aproximadamente de 0.5 a 0.7 ltr/s. Para estudiar el efecto de la utilización del quimbalete en el sistema combinado de concentración gravitacional se investigó también el lavado directo del mineral polvorizado en la canaleta sin uso del quimbalete. En esta ocasión se empulpó el mineral pulverizado seco en un canalón con un chorro de agua. El caudal de agua fue aproximadamente 0.7 – 0.8 ltr/s. Esta pulpa fue dirigida por el canalón a la canaleta de concentración.

El material que se sedimentó en el quimbalete así como los concentrados producidos en la canaleta fue amalgamado durante 30 a 60 minutos según su contenido de pirita aurífera. La amalgamación se efectuó cerradamente en el quimbalete. Para no permitir escapes de mercurio tampoco se

deslamó el quimbalete después del término de la amalgamación que hubiera facilitado la liquidación del quimbalete. No obstante, en un ensayo se tenía que deslamar el quimbalete porque la preconcentración en canaleta utilizando como trampas de oro cuero de cordero arrojó una gran cantidad de concentrado cuyo manipulación en la liquidación sin deslame anterior hubiera sido muy engorroso. En la operación del sistema de preconcentración en canaleta durante los ensayos estuvieron tres trabajadores – un quimbaletero, una persona encargado del suministro de agua y una persona encargado de la alimentación del mineral.

2.6 Concentrador Knelson

2.6.1 Generalidades del concentrador Knelson

El equipo Knelson ha sido usado con éxito en la recuperación de metales preciosos, tales como oro, platino y plata y metales básicos como el cobre. Metales nocivos para el medio ambiente tales como plomo y mercurio pueden también ser recuperados de tierras contaminadas, limpiando el medio ambiente.

El Concentrador Knelson es fabricado en diversos tamaños y modelos, desde el concentrador de laboratorio KC-MD3 hasta el equipo de alta producción KC-XD48 con capacidad de procesar 150 tph. Las aplicaciones del equipo Knelson varían desde trabajos de laboratorio o exploración en campo hasta plantas piloto y producción a gran escala.

Todos los modelos tienen incorporado el proceso de fluidificación patentado. Este proceso combinado con la fuerza centrífuga, ha hecho al concentrador Knelson el más avanzado equipo de concentración por gravedad disponible.

Los concentradores Knelson ofrecen:

- Recuperación rápida y eficiente a bajo costo
- Operación confiable y sin problemas
- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Operación no contaminante y sin peligro para el medio ambiente
- Total seguridad del concentrado
- Total automatización disponible en todos los modelos
- Con la idea de surtir únicamente productos de la más alta calidad, los concentradores Knelson son producidos con:
- Piezas que van en contacto con la humedad construidas en acero inoxidable resistente a la corrosión (también disponibles en acero dulce)
- Recubrimientos y partes de desgaste muy resistentes en materiales especiales
- Cono concentrador de poliuretano de larga duración
- Standards de soldadura CWB (Canadian Welding Bureau)
- Standards CSA de los sistemas eléctricos (Canadian Standards Association).

2.6.2 Funcionamiento de un concentrador Knelson.

Dentro del Concentrador Knelson las partículas son sometidas a 60 veces la fuerza de la gravedad para asegurar la recuperación de partículas microscópicas que antes se pensaba eran no recuperables por medios gravimétricos. Esta fuerza centrífuga junto con el patentado

proceso de fluidificación, permite que el Concentrador Knelson logre resultados excepcionales.

2.6.3 Procedimiento de operación del concentrador Knelson

- Agua es introducida a través de una serie de agujeros de fluidización al cono de concentración que está girando.
- Los lodos son introducidos a través del tubo estacionario de alimentación.
- Cuando los lodos llegan al fondo del cono, éstos son forzados por la fuerza centrífuga, hacia arriba en la pared interior del cono.
- Los lodos llenan cada anillo a su total capacidad, creando una cama de concentrado.
- La compactación de la cama de concentración se evita por medio del proceso patentado de fluidificación. A medida que el agua es inyectada a los anillos, se controla el flujo para alcanzar fluidificación óptima. Partículas de alto peso específico son retenidas en el cono concentrador.
- Cuando el ciclo de concentración se completa (8 a 24 hrs. en concentración aluvial y 1 a 6 horas para rocas duras), se lavan los concentrados del cono y descargan en la artesa de concentrados del Knelson a través del cubo patentado multiportas. Este proceso puede ser terminado en 2 minutos sin riesgos de seguridad.(Wotruba, & Vasters,.2002, p.47)

2.6.4 Tipo de concentradores Knelson

- **Concentradores Semi-Continuos**

El Concentrador Knelson tipo Semi-Continuo está disponible en un amplio rango de tamaño, siendo apropiado para cualquier operación aluvial o de roca dura. Reconocidos por su recuperación de oro y otros metales preciosos, el concentrador Knelson está disponible tanto en tamaños de laboratorio y plantas piloto como unidades a escala industrial. El completo rango de concentradores Semi-Continuos ofrece la más eficiente y más alta recuperación en la industrial.

Un diseño sólido y alta calidad en la fabricación, garantizan que cada concentrador Knelson proporcionará un desempeño metalúrgico excepcional, una alta disponibilidad operacional y muchos años de servicio sin problemas.

El Concentrador Knelson tipo Semi-Continuo es utilizado principalmente para la recuperación de metales preciosos, tales como oro, plata y metales del grupo del platino.

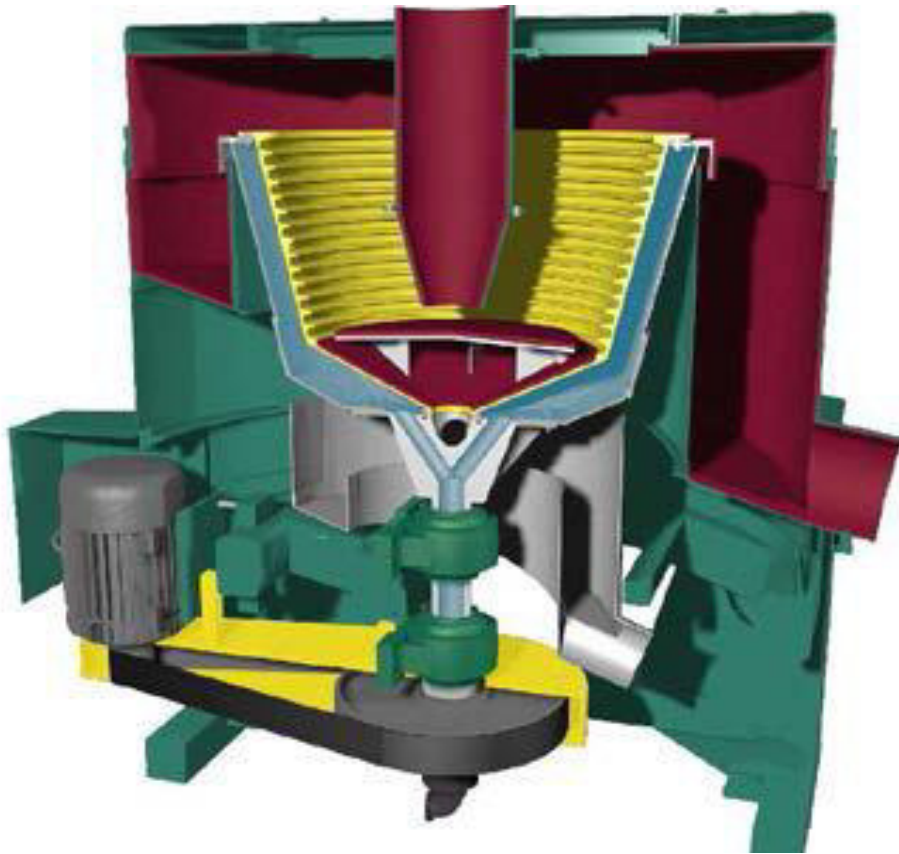


Fig. 2.11 Concentradores KnelsonSemi - Continuos
Fuente: Knelson, B. (2011)

- **Concentradores Continuos**

El Concentrador Continuo de Descarga Variable (CVD) fue desarrollado específicamente para atender a aquellas aplicaciones de procesamiento mineral con alto potencial de recuperación gravimétrica pero que debido al contenido de mineral valioso se hace impráctico procesar con la tecnología Semi-Continua.

A pesar de que la tecnología CVD es apropiada para aplicaciones específicas de recuperación de metales preciosos, esta tecnología es principalmente usada en concentración rougher para la recuperación de varios metales básicos como cobre, mercurio, tantalita, casiterita, cromita y schelita

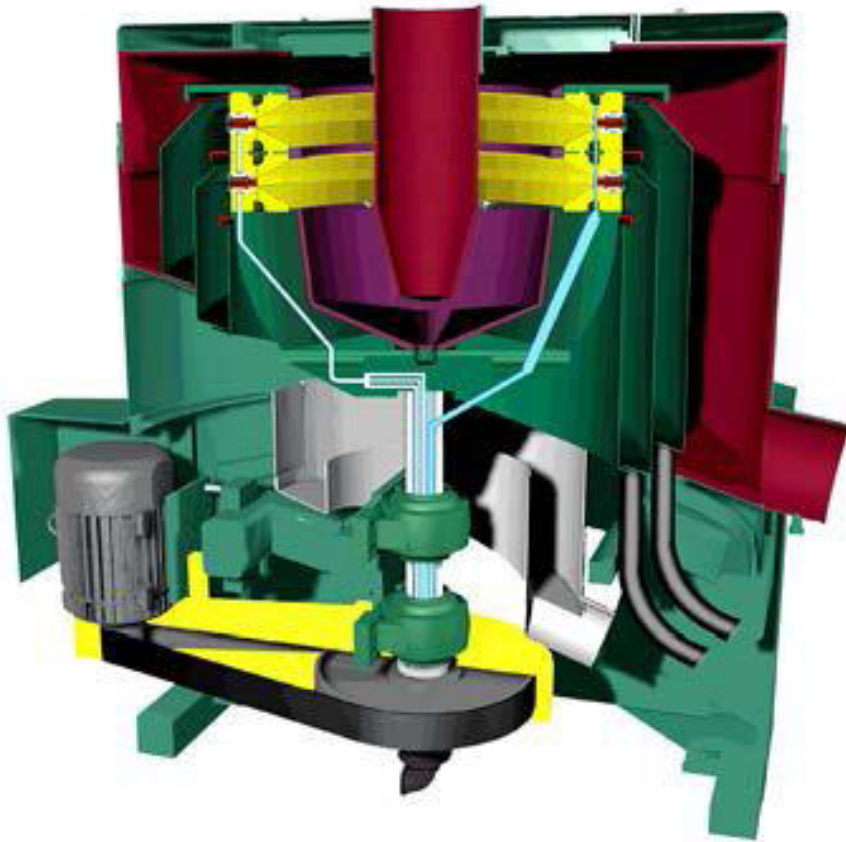


Fig. 2.12 Concentradores Knelson Continuos

Fuente: Knelson, B. (2011)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

La investigación realizada es experimental, porque se aplicaron los conocimientos existentes de la caracterización del mineral, procesos gravimétricos, procesos gravimétricos – centrifugación y cianuración, en la solución de problemas de la minería artesanal en cuanto a recuperación de oro sin el uso del mercurio.

La investigación es experimental, deductiva y cuantitativa, porque se realizaron pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio, tomando como base las teorías y antecedentes en el procesamiento de minerales de la minería artesanal. Además se realizó la manipulación, análisis e interpretación de las variables independientes y dependiente.

El diseño de investigación es el siguiente:

O₁	X	O₂
----------------------	----------	----------------------

Donde:

- O₁: Proceso convencional de amalgamación en la minería artesanal, baja recuperación de oro y contaminación ambiental.
- X: Aplicación del proceso innovador, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental.
- O₂: Mejora la recuperación de oro y se reduce la contaminación ambiental con el proceso Innovador donde no se usa mercurio.

Para mayor comprensión se adjunta el cuadro 3.1

Cuadro 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

Características	Investigación Cuantitativa ó Cualitativa
Percepción de la realidad	Es cuantitativa porque es objetiva; es decir se estudia el mineral. Es cualitativo porque es subjetivo, se estudia el entorno de la actividad.
Razonamiento	Es cuantitativo porque es deductivo; es decir parte de teorías y formulaciones existentes para mejorar la minería artesanal.
Finalidad	Es cuantitativa porque se realiza una comprobación de los resultados obtenidos, mediante balances metalúrgicos. Es cualitativa porque se efectúa una exploración de la zona en estudio.
Perspectiva del Investigador	Es cualitativa porque se realiza los procesos metalúrgicos. Es cuantitativa porque la perspectiva es un análisis desde fuera; es decir al margen de los datos.
Causalidad	Es cuantitativo porque los altos índices del uso del mercurio originan la contaminación ambiental, en efecto el no uso del mercurio reduce la contaminación ambiental. Es cualitativo por la interacción de factores o variables del proceso.
Axiología	Es cuantitativa porque los valores que se toman están en función de las pruebas metalúrgicas y depende de las características del mineral.
Punto fuerte	Es cuantitativo porque la investigación tiene un carácter de fiabilidad; es decir los datos que se obtienen son sólidos y repetibles.
Validez	Es cuantitativo porque la validez de investigación tiene un significado estadístico, utilizando balances metalúrgicos.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Unidad de Análisis

El análisis de unidad de investigación se efectuó en la zona de Yangas, provincia de Canta, departamento de Lima, teniendo en cuenta las comunidades involucradas en la actividad de la extracción, chancado, molienda y amalgamación para obtener oro refogado de la minería artesanal. Dicha actividad la realizan personas naturales, agrupación de familias y asociaciones.

3.3 Población de Estudio

La población de estudio es el mineral de cabeza, extraído de la corteza terrestre de parte de los mineros artesanales de la zona de Yangas –Canta - Lima

Los estudios de la investigación y caracterización del mineral, se realizaron en los laboratorios de metalurgia de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Geológica de la UNMSM.

3.4 Tamaño de Muestra

La cantidad establecida de la muestras para los estudios correspondientes fue de 60 Kg. Porque cada prueba en la pre concentración es de 5 kg. Se proyectó realizar 5 pruebas metalúrgicas y 3 que pueden ser repetibles, el resto de la muestra quedó como testigo para las pruebas preliminares que se realizaron.

El tipo de muestra es no probabilísticas; es cuando la elección de los elementos, no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con el investigador o del que hace la muestra. (Hernández 2006,p.207)

3.5 Selección de Muestra

Una vez obtenido la muestra representativa de 60 Kg. fue trasladado a la sala de muestras donde fue reducido en una chancadora primaria a una granulometría de 100% - 1/4"; el cual fue homogenizado y cuarteado para reducir, hasta obtener aproximadamente 40 Kg. Posteriormente se procedió a la reducción de tamaño en la chancadora secundaria, para obtener el producto final de chancado a nivel de laboratorio de 100% - 10 malla. Dicha muestra fue el alimento a la molienda para realizar las diferentes pruebas metalúrgicas programadas en el presente trabajo de investigación.

El método que se ha empleado es el cuarteo por conos, que consiste en formar una pequeña pila con el mineral muestreado, en forma de un cono, luego, este se aplana de una manera uniforme, formando un círculo cónico de una altura muy inferior a la del cono, a este círculo se le divide en cuatro partes simétricas, mediante una cruz concéntrica, luego se separan las 4 partes, para desechar 2 partes opuestas por el vértice y juntar las otras 2 que quedan para formar nuevamente otra pila más pequeña y realizar la misma operación anterior hasta considerar que el producto del último cuarteo contenga una cantidad requerida para las pruebas metalúrgicas.

3.6 Procedimiento Metodológico de la Investigación

La secuencia metodológica de la investigación comprende:

- Información bibliográfica de la problemática de la minería artesanal.
- Recolección de datos de los productores mineros artesanales de la zona de Yangas, que es materia de investigación.
- Obtener una muestra representativa de mineral de cabeza, de la producción de mineral de parte de los mineros artesanales.

- Después de las operaciones de chancado primario y secundario, tener la muestra representativa con una granulometría de 100% - 10 malla, que fue alimento a la molienda para realizar las diferentes pruebas metalúrgicas.
- La muestra representativa molida de cabeza de 300 gramos, se envió al laboratorio de análisis químico para el reporte de leyes en oro.
- De la muestra molida de cabeza de 300 gramos, también se envió al laboratorio de Microscopía óptica, para la caracterización y tener como resultado los componentes de la muestra, diferentes tipos de entrelazamientos, tamaño de las partículas y grados de liberación de las especies mineralógicas.
- Pruebas preliminares gravimétricas – centrifugación, como una pre concentración a nivel de laboratorio.
- Pruebas preliminares de cianuración de los relaves de pre concentración a nivel de laboratorio.
- Pruebas definitivas gravimétricas – centrifugación.
- Pruebas definitivas de cianuración de los relaves de preconcentración.
- Sistematizar los resultados obtenidos, mediante balances metalúrgicos.
- Proponer en base a los resultados obtenidos a nivel de laboratorio, realizar pruebas a nivel de planta piloto.

3.7 Análisis mineralógico de la muestra sobre una sección pulida

El análisis realizado sobre la muestra, ha permitido determinar sus constituyentes mineralógicos, las distribuciones volumétricas, de aquellos minerales que han intervenido en el análisis modal, sus respectivos grados de liberación y la interpretación de los grados de liberación para cada uno de los minerales.

Cuadro 3.2: Minerales Observados

MINERALES	FORMULA	ABREVIATURA
Oro	Au	Au
Calcopirita	CuFeS ₂	cp
Covelita	CuS	cv
Calcosita	Cu ₂ S	cc
Esfalerita	ZnS	ef
Pirita	FeS ₂	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Magnetita	Fe ₃ O ₄	mt
Hematita	Fe ₂ O ₃	hm
Goethita	FeO.OH	gt
Rutilo	TiO ₂	rt
Gangas		GGs

Fuente: Gagliuffi, P. (2010).

3.7.1 Interpretación mineralógica

Minerales Auríferos. Como mineral aurífero está el oro

Minerales Cupríferos. Como minerales de cobre están la calcopirita, covelita y calcosita.

Minerales Zincíferos. Como mineral de zinc está la esfalerita

Minerales Ferríferos. Como minerales de hierro están la pirita, arsenopirita, magnetita, hematita y goethita

Otros Minerales. Dentro de este grupo están el rutilo y las gangas.

3.7.2 Distribución volumétrica porcentual y grados de liberación

La distribución volumétrica y el peso manifestado en este reporte son en términos porcentuales, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en la tabla siguiente:

Cuadro 3.3 Volúmenes y grados de liberación

MINERALES	VOLUMEN (%)	GRADO DE LIBERACION (%)
Oro	Trz	0.00
Calcopirita	4.30	94.70
Covelita	0.31	92.81
Calcosita	0.06	0.00
Esfalerita	Trz	0.00
Pirita	15.86	97.20
Hematita	0.01	0.00
Rutilo	0. 01	0.00
Gangas	79.45	98.12
TOTAL	100.00	

Fuente: Gagliuffi, P. (2010).

3.7.3 Interpretación de grados de liberación

Observando el cuadro 3.3, se hizo la siguiente interpretación de los grados de liberación de los minerales que han intervenido en el análisis modal:

El oro se halla en el orden de trazas, presentando 0.00% de grado de liberación, es decir, que todos se hallan ocluidos.

La calcopirita ocupa el 4.30% del volumen total de la muestra, de ese volumen el 94.70% se halla libre, mientras que el 5.30% restante se encuentra entrelazado.

La covelita ocupa el 0.31% del volumen total de la muestra, de este volumen el 92.81% se halla libre, permaneciendo aun entrelazado el 7.19% restante.

La calcosita ocupa el 0.06% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, mientras que el 100.00% restante están entrelazados.

La esfalerita se halla en el orden de trazas, presentando 0.00% de grado de liberación, es decir, que todas están entrelazadas.

La pirita ocupa el 15.86% del volumen total de la muestra, de este volumen el 97.20% se halla libre, mientras que 2.80% restantes, se encuentran aún entrelazadas.

La hematita ocupa en 0.01% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, mientras que el 100.00% restante se mantienen aún entrelazados.

El rutilo ocupa el 0.01% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, permaneciendo el 100.00% restante aun entrelazada.

Las gangas ocupan el 79.45% del volumen total de la muestra, de este volumen el 98.12% se halla libre, mientras que el 1.88% restante se encuentra aún entrelazada.

Cuadro 3.4: Volúmenes y Grados de Liberación de los Minerales Observados

MINERALES			ORO		CALCOPIRITA		COVELITA		CALCOSITA		ESFALERITA		PIRITA		HEMATITA		RUTILO		GANGAS	
			N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
Total de Partículas Libres % Volumen Partículas libres	6720		0		280		20		0		0		1060		0		0		5360	
	97.73			0.00		4.07		0.29		0.00		0.00		15.42		0.00		0.00		77.95
TOT.PARTICULAS	NUMERO	VOLUMEN	ORO		CALCOPIRITA		COVELITA		CALCOSITA		ESFALERITA		PIRITA		HEMATITA		RUTILO		GANGAS	
ENTRELAZADAS	PARTICUL.	PORCENTUAL	N	% V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
cp-cv	10	0.14			8.45	0.12	1.55	0.02												
cp-cc	5	0.07			1.00	0.01			4.00	0.06										
cp-py	15	0.22			3.60	0.05							11.40	0.17						
cp-GGs	25	0.37			2.60	0.04													22.40	0.33
ef-GGs	5	0.07									0.05	0.00							4.95	0.07
py-hm	5	0.08											4.50	0.07	0.50	0.01				
py-rt	5	0.07											4.75	0.07			0.25	0.00		
py-GGs	55	0.80											8.85	0.13					46.15	0.67
hm-GGs	5	0.07													0.05	0.00			4.95	0.07
rt-GGs	20	0.30															0.40	0.01	19.60	0.29
Au-cp-py	1	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00							0.98	0.01						
py-rt-GGs	5	0.07											0.05	0.00			0.25	0.00	4.70	0.07
TOTAL ENTREL.	156	2.27	0.01	0.00	15.66	0.23	1.55	0.02	4.00	0.06	0.05	0.00	30.53	0.44	0.55	0.01	0.90	0.01	102.75	1.49
TOT.LIB+ENLZ	6876	100.00	0.01		295.66		21.55		4.00		0.05		1090.53		0.55		0.90		5462.75	
TOT.VOL.PORCENTUAL		100.00		0.00		4.30		0.31		0.06		0.00		15.86		0.01		0.01		79.45
GRADOS DE LIB.PORCENTUAL			0.00		94.70		92.81		0.00		0.00		97.20		0.00		0.00		98.12	
Símbolos : N = Número de partículas libres y entrelazadas contabilizadas. %V = Volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas.																				

Fuente: Gagliuffi, P. (2010).

Cuadro 3.5 : Tipos geométricos de entrelazamientos de los minerales y sus posibilidades de liberación completa

MINERALES ENTRELAZADOS	TIPO ENTR.	NUM. PART.	DIST. PORC.	POSIBILIDADES DE LIBERACION COMPLETA
Partículas Libres		6720	97.73	
cp-cv	2bl	5	0.07	Muy difícil
	3dl	5	0.07	Muy difícil a imposible
cp-cc	2al	5	0.07	Muy difícil a imposible
cp-py	1blv	5	0.07	Moderadamente fácil
	1el	5	0.07	Muy difícil a imposible
	1ell	5	0.07	Muy difícil a imposible
cp-GGs	1dll	5	0.07	Imposible
	1el	5	0.07	Muy difícil a imposible
	1ell	5	0.07	Muy difícil a imposible
	3dl	5	0.07	Muy difícil a imposible
	3dll	5	0.07	Muy difícil a imposible
ef-GGs	1ell	5	0.07	Muy difícil a imposible
py-hm	1al	5	0.07	Fácil
py-rt	1dll	5	0.07	Imposible
py-GGs	1al	5	0.07	Fácil
	1bll	5	0.07	Moderadamente fácil
	1blv	10	0.15	Moderadamente fácil
	1dll	5	0.07	Imposible
	1el	10	0.15	Muy difícil a imposible
	1ell	15	0.22	Muy difícil a imposible
	3dll	5	0.07	Muy difícil a imposible
hm-GGs	1ell	5	0.07	Muy difícil a imposible
rt-GGs	1dll	10	0.15	Imposible
	1ell	10	0.15	Muy difícil a imposible
Au-cp-py	1dll	1	0.01	Imposible
py-rt-GGs	1dll	5	0.07	Imposible
TOTAL		6876	100.00	

Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

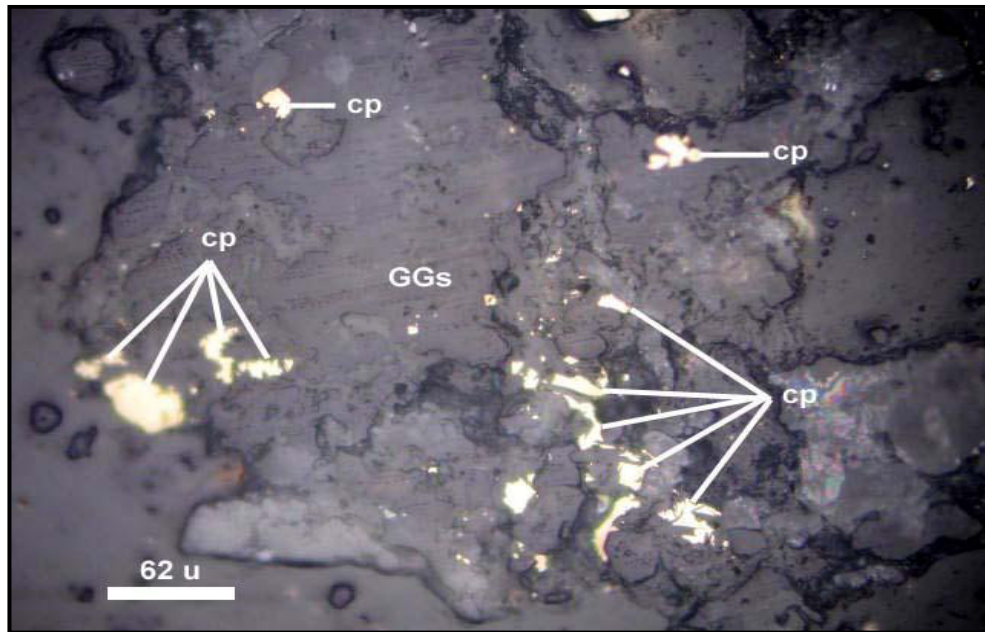


Fig. 3. 1: Entrelazamiento de calcopirita (cp) con la ganga (GGs). 200X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

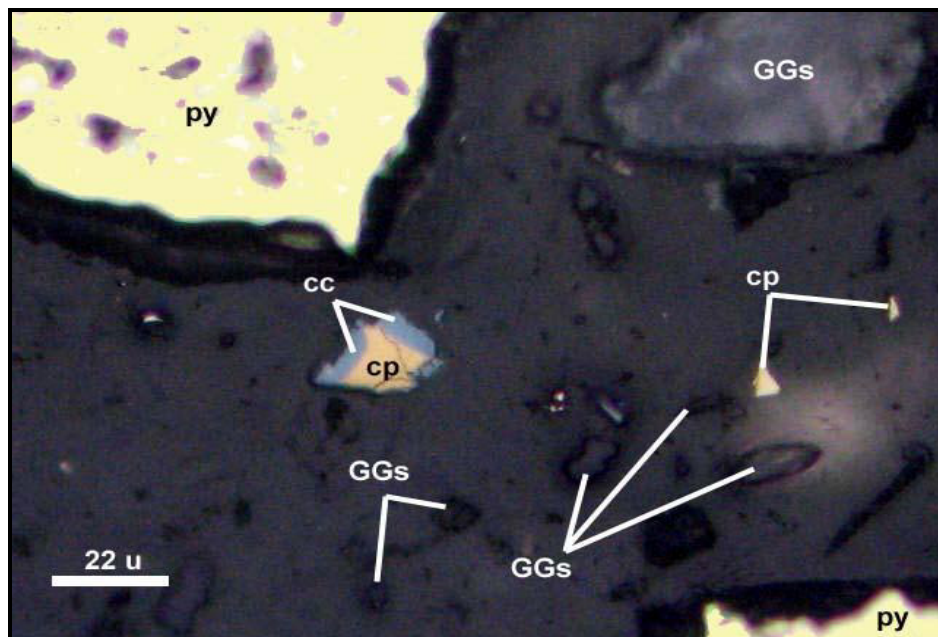


Fig. 3.2 Partículas libres de calcopirita (cp), pirita (py) y gangas (GGs); al centro de la vista una partícula entrelazada de calcopirita (cp) con la calcosita (cc). 200X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

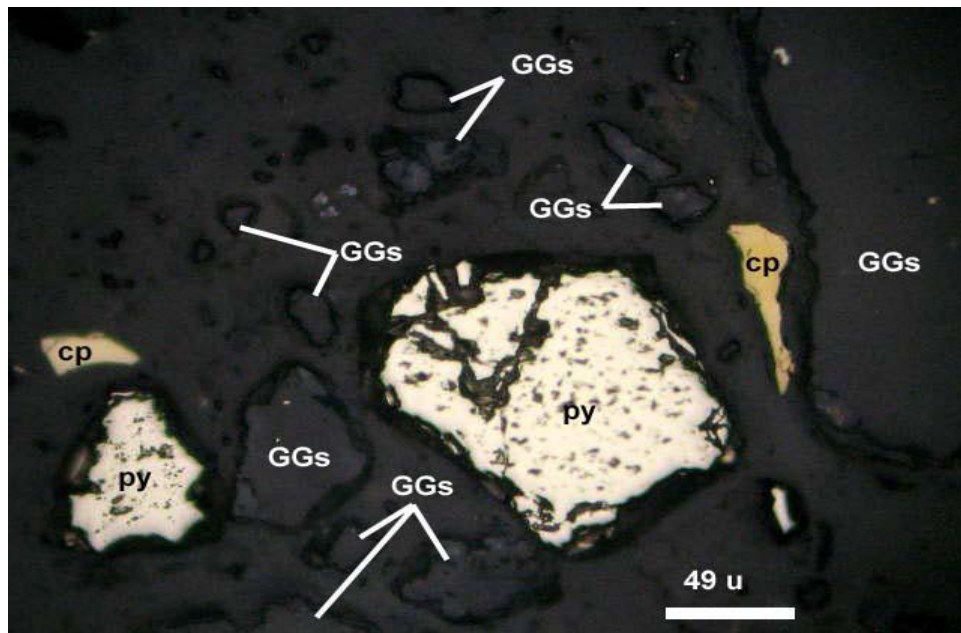


Fig. 3.3: Partículas libres de calcopirita (cp), pirita (py) y gangas (GGs). 200X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

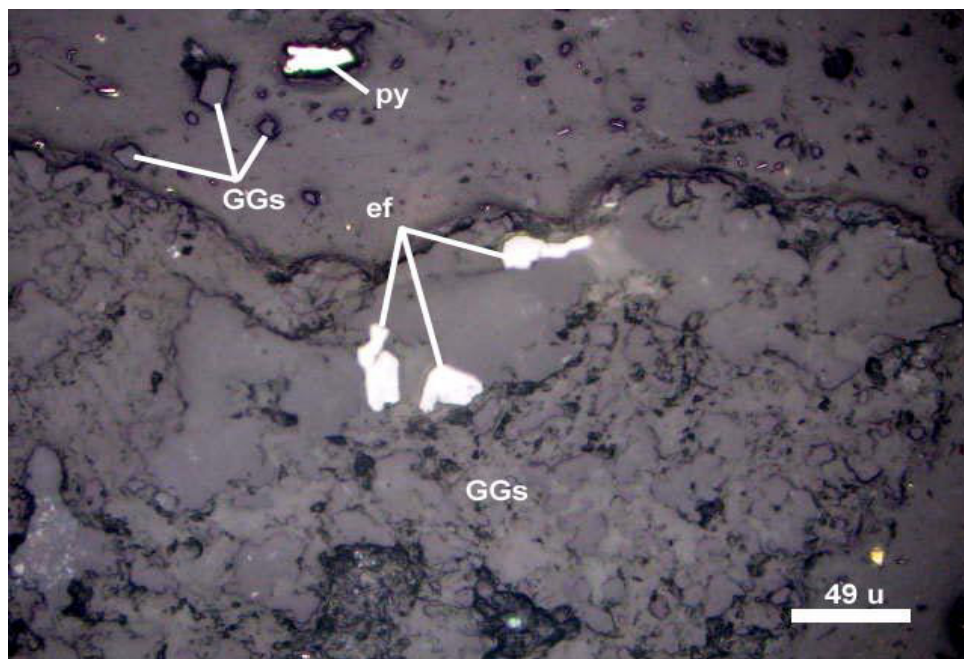
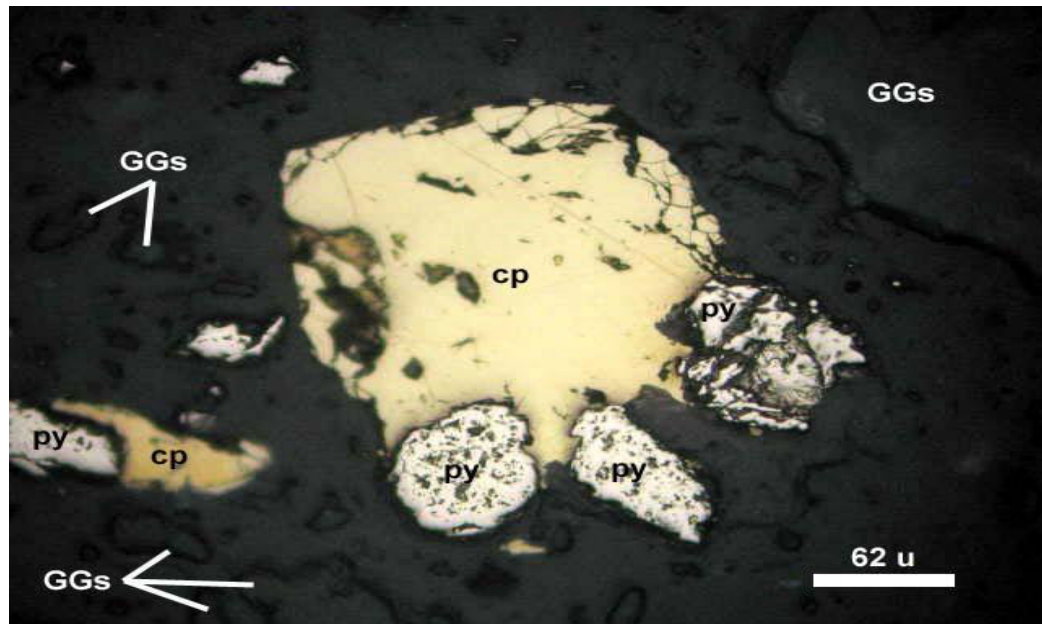


Fig. 3.4: Partículas libres de pirita (py) y de gangas (GGs); partícula entrelazada de esfalerita (ef) con la ganga (GGs). 200X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)



a
3.5 Partículas entrelazadas de calcopirita (cp) con la pirita (py), además partículas libres de gangas (GGs). 200X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

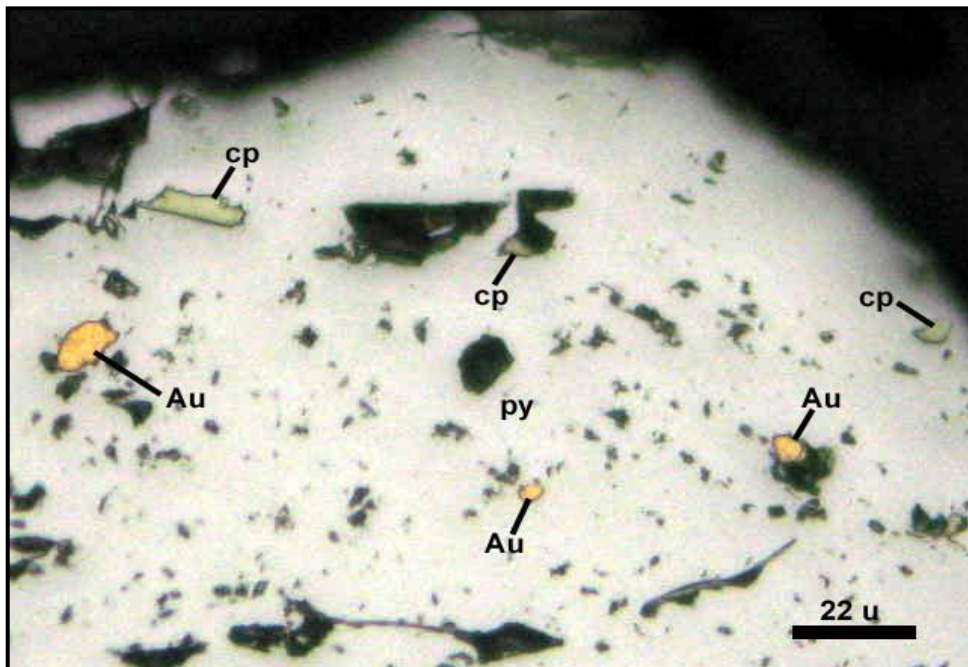


Fig. 3.6 Partículas entrelazadas de oro (Au) con la calcopirita (cp) y la pirita (py); nótese los tamaños de los grano de oro (Au), el más grande tiene una dimensión de 17 micras (es decir, 0,017 mm) de longitud. 400X.
Fuente: Gagliuffi, P. (2010)

CAPÍTULO IV

PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1 Pruebas de Preconcentración con el Concentrador Knelson

Para realizar las pruebas metalúrgicas de preconcentración con el concentrador Knelson, es importante que la muestra sea representativa y que la variable independiente es la granulometría.

4.1.1 Condiciones de la Prueba:

Peso muestra : 5000 g
Fuerza de Gravedad : 60 G's
Granulometrías : 52.25 %, 60.66%, 67.13%, 74.64% - 200 malla
Presión agua : 3 psi

4.1.2 Resultados de la Prueba con 52.25% -200 malla

Cuadro 4.1 Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 52.25% - 200 m.

Componentes	Peso (g)	% Peso	Ley Au (g/TM)	Conteni do Fino	% Recuperación	Ratio
				Au	Au	
Cabeza	5000.00	100.00	16.20	16.20	100.00	
Concentrado	105.22	2.10	76.80	1.61	8.24	47.52
Relave	4894.78	97.90	18.30	17.92	91.76	
Cabeza Calculada			19.53			

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Resultados de la prueba con 60.66%-200 malla

Cuadro 4.2 Balance metalúrgico del concentrador Knelson a 60.66% - 200 m.

Componentes	Peso (g)	% Peso	Ley Au (g/TM)	Contenido Fino	% Recuperación	Ratio
				Au	Au	
Cabeza	5000.00	100.00	16.20	16.20	100.00	
Concentrado	76.70	1.53	234.29	3.58	18.34	65.19
Relave	4923.33	98.47	16.19	15.94	81.66	
Cabeza Calculada			19.52			

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Resultados de la prueba con 67.13% - 200 malla

Cuadro 4.3 Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 67.13% - 200 m.

Componentes	Peso (g)	% Peso	Ley Au (g/TM)	Contenido Fino	% Recuperación	Ratio
				Au	Au	
Cabeza	5000.00	100.00	16.20	16.20	100.00	
Concentrado	96.91	1.94	300.20	5.84	33.66	51.59
Relave	4903.09	98.06	11.70	11.47	66.34	
Cabeza Calculada			17.29			

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Resultados de la Prueba con 74.64% - 200 malla

Cuadro 4.4 Balance Metalúrgico del Concentrador Knelson a 74.64% - 200m.

Componentes	Peso (g)	% Peso	Ley Au (g/TM)	Contenido Fino	% Recuperación	Ratio
				Au	Au	
Cabeza	5000.00	100.00	16.20	16.20	100.00	
Concentrado	99.07	1.98	312.01	6.18	29.60	50.47
Relave	4900.93	98.02	15.00	14.70	70.40	
Cabeza Calculada			20.88			

Fuente: Elaboración propia



Fig. 4.1 Operación Concentrador Knelson
Fuente: Elaboración propia



Fig. 4.2 Interior del Cono del Concentrador Knelson
Fuente: Elaboración propia

4.2 Pruebas de Cianuración de los Relaves del Concentrador Knelson

4.2.1 Condiciones de la Prueba:

Peso muestra : 500 g
Relación L/S : 2/1
Granulometrías : 52.25%, 60.66%, 67.13%, 74.64% - 200 malla
Tiempo de Cianuración : 24 hrs
pH : 10.5
Agitación : 300 RPM

4.2.2 Resultados de la Cianuración con 52.25% - 200 malla

Cuadro 4.5 Balance Metalúrgico Cianuración a 52.25% - 200 m

Componentes	Peso (g) ó volumen (ml)	Ley Au (g/TM)	Contenido fino	% recuperación
Cabeza	500.00	18.30	91.50	100.00
Sol. Rica	1000.00	7.90	79.00	75.96
Relave	500.00	5.00	25.00	24.04
Cabeza Calc.		20.80		

Consumo NaCN : 1.16 Kg/TM

Consumo CaO : 9.28 Kg /TM

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Resultados de la Cianuración con 60.66% - 200 malla

Cuadro 4.6 Balance Metalúrgico Cianuración a 60.66% - 200 m

Componentes	Peso (g) ó volumen (ml)	Ley Au (g/TM)	Contenido fino	% recuperación
Cabeza	500.00	16.19	80.95	100.00
Sol. Rica	1000.00	4.93	49.30	62.88
Relave	500.00	5.82	29.10	37.12
Cabeza Calc.		15.68		

Consumo NaCN : 1.22 Kg /TM

Consumo CaO : 9.23 Kg /TM

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Resultados de la Cianuración con 67.13% - 200 malla

Cuadro 4.7 Balance Metalúrgico Cianuración a 67.13% - 200 m.

Componentes	Peso (g) ó volumen (ml)	Ley Au (g/TM)	Contenido fino	% recuperación
Cabeza	500.00	11.70	58.50	100.00
Sol. Rica	1000.00	4.17	41.70	63.47
Relave	500.00	4.80	24.00	36.53
Cabeza Calc.		13.14		

Consumo NaCN : 1.30 Kg/TM

Consumo CaO : 9.28 Kg/TM

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Resultados de la Cianuración con 74.64% - 200 malla

Cuadro 4.8 Balance Metalúrgico Cianuración a 74.64% - 200 m.

Componentes	Peso (g) ó volumen (ml)	Ley Au (g/TM)	Contenido fino	% recuperación
Cabeza	500.00	15.00	75.00	100.00
Sol. Rica	1000.00	4.46	44.60	70.02
Relave	500.00	3.82	19.10	29.98
Cabeza Calc.		12.74		

Consumo NaCN : 1.62 Kg /TM

Consumo CaO : 9.76 Kg /TM

Fuente: Elaboración propia

4.3 Pruebas Metalúrgicas de Cianuración de los Relaves del Concentrador Knelson Remolido, Incrementando el Tiempo y Agitación

4.3.1 Condiciones de la Prueba:

Peso muestra : 500 g
Relación L/S : 2/1
Granulometría : 87.25% - 200 malla
Tiempo de Cianuración : 48 hrs
pH : 10.5
Agitación : 500 RPM

4.3.2 Resultados de la Cianuración del Relave Remolido

Cuadro 4.9 Balance Metalúrgico Cianuración Relave Remolido

Componentes	Peso (g) ó volumen (ml)	Ley Au (g/TM)	Contenido fino	% recuperación
Cabeza	500.00	15.00	75.00	100.00
Sol. Rica	1000.00	5.07	50.70	81.06
Relave	500.00	2.37	11.85	18.94
Cabeza Calc.		12.51		

Consumo NaCN : 2.52 Kg /TM

Consumo CaO : 11.05 Kg /TM

Fuente: Elaboración propia



Fig. 4.3 Agitador para el Proceso de Cianuración
Fuente: Elaboración propia

4.4 Interpretación de los Resultados Obtenidos

En la primera etapa de la preconcentración con el concentrador Knelson, la mejor prueba metalúrgica seleccionada es el cuadro 4.3, donde la calidad del concentrado es de 300.20 g/TM, recuperación de 33.66% y un radio de concentración de 51.59, con una granulometría de 67.13% -200 malla.

En la segunda etapa que es la cianuración de los relaves de la preconcentración del concentrador Knelson, la mejor prueba metalúrgica seleccionada es el cuadro 4.5, donde la recuperación del oro es de 75.96 %, con un consumo de cianuro de 1.16 Kg/TM, con una granulometría de 52.25% -200 malla.

Variando las condiciones del proceso de cianuración, remoliendo los relaves de la preconcentración del concentrador Knelson a una granulometría de 87.25% - 200 malla, revolución de la agitación a 500 RPM y tiempo de cianuración en 48 horas. Como resultado se obtiene una recuperación de 81.06% con un consumo de cianuro de 2.52 Kg/TM.

Finalmente la variable independiente seleccionada en la preconcentración es una granulometría de 67.13% - 200 malla, para obtener una recuperación de 33.66% de oro y en la cianuración una granulometría de 87.25% -200 malla, para obtener una recuperación de oro de 81.06%. La recuperación total del proceso de preconcentración y cianuración fue de 87.44%, que es la variable dependiente obtenida.

En el proceso seleccionado, se tiene como ventaja adicional la no utilización del mercurio en la preconcentración con el concentrador Knelson, como consecuencia se tiene la reducción de la contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

- Los resultados de la caracterización de la muestra del mineral estudiado indicó la presencia de oro, calcopirita, covelita, calcosita, esfalerita, pirita, arsenopirita, magnetita, goethita, rutilo y gangas.
- La mejor prueba seleccionada en la preconcentración, con el concentrador Knelson es con una granulometría de 67.13% - 200 malla, como variable independiente obteniéndose 300.20 g/TM de concentrado, 33.66% de recuperación que es la variable dependiente (cuadro 4.3). En esta etapa se recupera el oro libre y grueso de la muestra y se reduce la contaminación ambiental, porque solamente se trabaja con agua sin el uso del mercurio.
- Remoliendo los relaves de la preconcentración a una granulometría de 87.25% - 200 malla como variable independiente, con 48 horas de cianuración y 500 RPM de agitación, se llega a una recuperación de oro de 81.06% variable dependiente (cuadro 4.9). La cianuración operada convenientemente con las variables adecuadas, el impacto al medio ambiente tiene que ser mínimo.
- La recuperación total de oro, tanto de la preconcentración y cianuración de los relaves de la preconcentración remolidos es 87.44%, variable dependiente. Comparado con el trabajo que realiza la minería artesanal que llega entre 40 a 50 % de recuperación de oro con el proceso convencional de amalgamación.

- El proceso metalúrgico adecuado de acuerdo a los resultados de la investigación de la tesis, para el procesamiento de los minerales de la minería artesanal de Yangas es una preconcentración con el concentrador Knelson, remoler los relaves de la preconcentración y realizar el proceso de cianuración, para obtener una recuperación total de 87.44 % de oro, sin utilizar mercurio en la preconcentración.

RECOMENDACIONES

- Con los resultados obtenidos en la presente tesis, se recomienda que el proceso metalúrgico estudiado es una alternativa para la minería aurífera artesanal de Yangas, porque reemplaza al proceso convencional de amalgamación, mejorando la recuperación de oro y reduciendo la contaminación ambiental por el no uso del mercurio.
- Se recomienda que los mineros artesanales de Yangas se agrupen y puedan procesar su mineral directamente y se puede replicar como un modelo para la minería artesanal en general, mejorando su rentabilidad.
- Las variables obtenidas en el presente trabajo de investigación, sirven como base para los estudios a nivel planta piloto.
- La universidad en convenio con los mineros artesanales debe difundir el proceso metalúrgico producto del trabajo de investigación de la presente tesis, para mejorar la recuperación de oro sin el uso del mercurio.
- Para la informalidad de la pequeña y minería artesanal, el proceso innovador producto de la tesis será una herramienta tecnológica que facilitará la formalización de este sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aramburú, V. (2009) *Recuperación de Oro y Mercurio de los Relaves del Proceso de Amalgamación con Tecnología Limpia*. Informe Técnico Final de Investigación- Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Bergamashi, G. (1987) *Oro*. Editorial Mondadori. España.

Brewis, T. (1995) *Separación por Gravedad* Edit. Minig. Canadá.

Dana J. (1992) *Manual de Mineralogía de Dana*. 19° Edición. Editorial Riverte. España.

Gómez O. (1988) *Evaluación del impacto ambiental* Ediciones Mundi- prensa. Madrid.

Hernández, R. (2006). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw-Hill. México.

Hurtado H. (2003) *Oro oculto en el Perú*. Editorial UNAS. Lima.

Knelson, B. V. (1988) *Centrifugal Concentration and Separation of Precious Metals*. Memorias: 2nd International Conference on Gold Mining, Canadá.

Laplante A. (1990); *Gold Gravity Recovery at the Mill of Les Mines Camchib Inc.*, Editorial: Chibougama, Quebec.

Lázaro, H, Trillo A. y Sánchez P. (1995). *"Estudio de la minería aurífera informal y medio ambiente en la zona de Puno,"* mimeo IDESI - MEM. Lima.

Long & Roberts (2001) *Mineros campesinos y Empresarios*. Editorial Instituto de Estudios Peruanos. Perú.

López A. (2011) Tesis *Concentración gravimétrica centrífuga de oro y plata y su implementación en el circuito de molienda de minera El Pilón*. Universidad de Autónoma de San Luis de Potosí: México.

Mosquera, C. Trillo, A. y Luján A.(1999). *"Propuesta para un Plan de Acción para el Proyecto GAMA,"* Informe Final Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE. Lima.

Ounpuu, M. (1992) *Gravity Concentration of Gold From Base Metal Flotation Mills;* Memorias: 24th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Ontario.

Palomino A. & Ramos O. (2008) Tesis *Evaluación de la recuperación de oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo – Minera Koricolqui*. Presentada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Piscoya J. (2011) Tesis *Minería y Contaminación ambiental en Piura*. Universidad Nacional de Piura – Escuela de Post Grado. Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental.

Tyler& Miller (1994) *Ecología y Medio ambiente*. Editorial: Siglo XXI. México.

Viñas R. Aranibar A. (2003) *Pequeña minería y minería artesanal en Iberoamérica*. Editores CETEM.

Viñas R. Aranibar A. (2006) *Tecnologías limpias en las industrias extractivas minero metalúrgico*. CETEM.

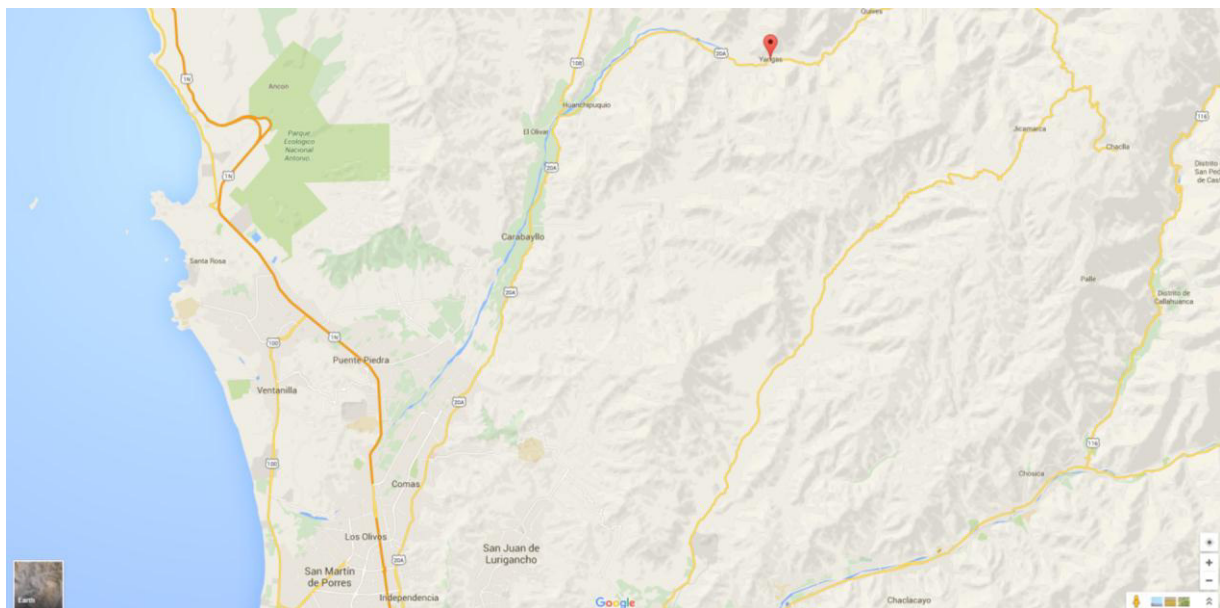
Wotruba, H. Vasters, J. (2002) *Estudio para mejorar el proceso de quimbaiteo minimizando las pérdidas altas de mercurio*. Proyecto GAMA, Perú.

Zevallos, W. (1994). *Ni Oro ni Plata... Violencia Desplazados y Minería Artesanal en la Región Libertadores-Wari*. Lima: EPRODICA.

ANEXOS

Anexo 1

Ubicación de Yungas, Provincia de Canta, Lima

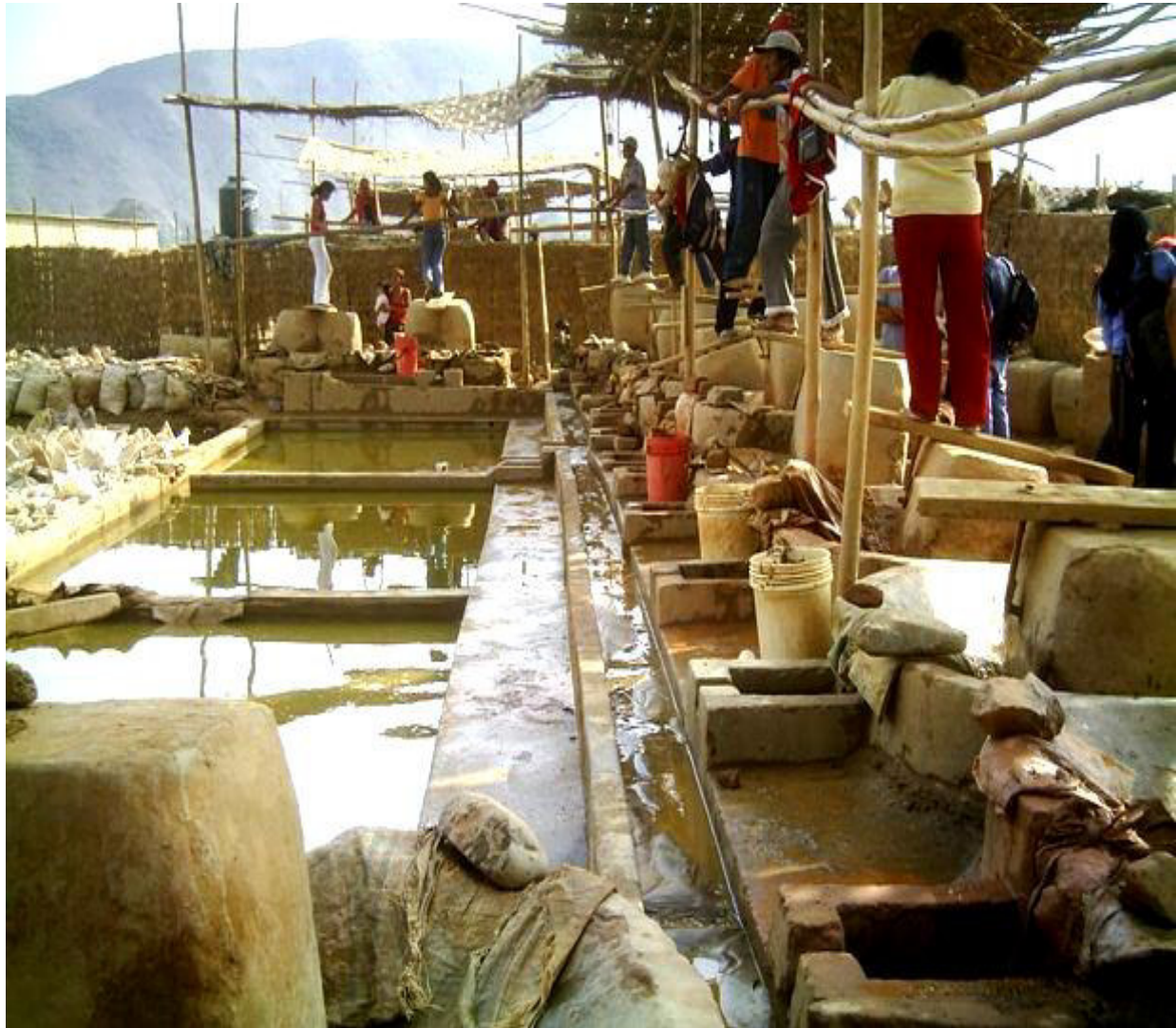


Anexo 2

Figuras: Actividades de la minería artesanal en Yangas.











Anexo 3

Título tesis: PROCESO INNOVADOR PARA MEJORAR LA RECUPERACIÓN DE ORO Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA MINERÍA ARTESANAL				
MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	H I P Ó T E S I S		
		HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS 1era ETAPA	
			IDENTIFICACIÓN	PROCEDIMIENTO
¿De qué manera el proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración, puede mejorar la recuperación de oro y la reducción de la contaminación ambiental en la minería artesanal?	Determinar un proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental.	El proceso innovador de preconcentración y cianuración de los relaves de preconcentración propuesto, permitirá mejorar la recuperación de oro.	Variable Independiente: - Granulometría	-Muestreo
			Variable Dependiente: -% de Recuperación	-Pruebas metalúrgicas de preconcentración.
			Variables intervinientes Controladas:	
			-Fuerza de gravedad	
			-Peso de muestra de mineral	
			-Densidad de pulpa	
			-Presión de flujo de Agua.	

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS 2da ETAPA	
Problema Específico Nº 1	Objetivo Específico Nº 1	Hipótesis Nº 1	IDENTIFICACIÓN	PROCEDIMIENTO
¿Cuál es el proceso de preconcentración más adecuado, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental?	Determinar el proceso de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental	El proceso adecuado de la preconcentración en la primera etapa, mejorará la recuperación de oro.	Variable Independiente: - Granulometría	-Muestreo
			Variable Dependiente: - % de Recuperación	-Pruebas metalúrgicas cianuración de los relaves de preconcentración
			Variable Intervinientes Controladas: - Tiempo de cianuración - pH de cianuración - Concentración de cianuro de sodio - Densidad de pulpa - Velocidad de agitación	
Problema Específico Nº 2	Objetivo Específico Nº 2	Hipótesis Nº 2		
¿De qué manera el proceso de cianuración de los relaves de preconcentración, mejora la recuperación de oro y reduce la contaminación ambiental?	Determinar el proceso de cianuración de los relaves de preconcentración, para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental	El proceso de cianuración de los relaves de preconcentración apropiado en la segunda etapa, mejorará la recuperación de oro		